

Testování mechanických vlastností modifikovaných polymerů

Marie Jurčová

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marie JURČOVÁ**
Osobní číslo: **T10262**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Testování mechanických vlastností modifikovaných polymerů**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma.**
- 2. Příprava zkušebních těles pro experimentální část.**
- 3. Provedení experimentu.**
- 4. Vyhodnocení naměřených výsledků.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. David Maňas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

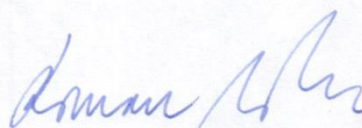
Datum zadání bakalářské práce:

8. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

17. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Jurčová Marie.....

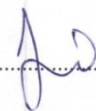
Obor: TZ.....

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 14.5.2013

.....


¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:
(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²¹ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě díla vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁹ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ústanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělků jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlíží k výši výdělků dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce bylo měření mikrotvrdomosti PA plněné 30% GF. Měření bylo provedeno na mikrotvrdoměru Micro Combi Testeru při aplikovaném zatížení 0,5 a 1N. Polyamid 6 plněný skelným vláknem byl modifikován beta zářením v dávkách 0, 15, 30, 45, 66, 99, 132, 165, 198 kGy. Naměřené výsledky ukázaly zlepšení mechanických vlastností povrchové vrstvy.

Klíčová slova: mikrotvrdomost, beta záření, mechanické vlastnosti, polyamid 6

ABSTRACT

The aim of this study was to measure micro-filled PA 30% GF. Measurements were performed on microhardness Micro Combi Tester at applied load of 0.5 and 1N. Polyamide 6 filled with glass fiber was modified by beta radiation in doses of 0, 15, 30, 45, 66, 99, 132, 165, 198 kGy. The measured results showed improvement in the mechanical properties of the surface layer.

Keywords: microhardness, beta radiation, mechanical properties, polyamide 6

Poděkování :

Chtěla bych poděkovat vedoucímu této bakalářské práce doc. Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D. za odborné vedení, jak při teoretické tak i při experimentální části. Dále bych chtěla poděkovat všem ostatním, kteří mi při vypracování této práce pomohli.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY	12
1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ.....	12
1.1.1 Rozdělení podle tvaru makromolekulárních řetězců.....	14
1.1.2 Rozdělení polymerů dle výchozích surovin	15
1.1.3 Rozdělení podle polarity	15
1.1.4 Dělení z hlediska chemického složení	16
1.1.5 Podle druhu přísad.....	16
1.1.6 Dělení z hlediska aplikací	16
2 CHARAKTERISTIKA POLYAMIDU	18
2.1 VÝROBA POLYAMIDU	18
2.2 ROZDĚLENÍ POLYAMIDŮ.....	19
2.3 VLASTNOSTI POLYAMIDU	19
2.4 ATMOSFERICKÉ STÁRNUTÍ POLYAMIDU.....	21
2.4.1 Změny vzhledu.....	21
2.4.2 Změny chemických vlastností.....	22
2.4.3 Změny elektrických vlastností	22
2.5 ODOLNOST POLYAMIDŮ PROTI PŮSOBENÍ CHEMIKÁLIÍ.....	22
2.6 VLIV IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA POLYAMIDY	22
3 POLYMERY VHODNÉ K OZAŘOVÁNÍ	23
4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY PLASTŮ	25
4.1 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	25
4.1.1 Zkouška tvrdosti.....	26
Měření tvrdosti podle Brinella	26
Měření tvrdosti podle Vickerse.....	27
Měření tvrdosti podle Knoopu	28
Měření tvrdosti podle Rockwela.....	28
Měření tvrdosti podle Shore	29
4.1.2 Faktory ovlivňující výsledky měření	30
5 SÍŤOVÁNÍ	31
5.1 ROZDÍLY MEZI ELEKTRONOVÝM BETA ZÁŘENÍM A ZÁŘENÍM GAMA.....	32
5.1.1 Síťování pomocí beta záření	33
5.1.2 Síťování pomocí gama záření	34
5.2 ZLEPŠENÍ VLASTNOSTÍ PLASTŮ.....	34
5.3 POUŽITÍ IONIZAČNÍHO ZÁŘENÍ V PRAXI	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	38
ZÁVĚR	57
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	58
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	59
SEZNAM OBRÁZKŮ	60
SEZNAM TABULEK	62

SEZNAM PŘÍLOH.....	63
---------------------------	-----------

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá měřením tvrdostí polymerů. Tvrdost polymerů je jednou z mechanických vlastností, která je důležitá pro konečnou aplikaci. Hlavní předností zkoušek tvrdosti je jednoduchost, rychlost, nízká cena a opakovatelnost.

Podle hodnoty tvrdosti můžeme také zjistit pomocí empirických vzorců další vlastnosti materiálu. Existují převodové tabulky v kterých zjistíme třeba pevnost v tahu. Zkoušku provádíme buď na zkušebních vzorcích, nebo přímo na hotovém výrobku.

Tvrdost lze definovat jako odolnost materiálu proti místní deformaci vyvozené zatěžovacím tělesem. Podstatou zkoušky je vtlačování přesně definovaných tvarů za stanovených podmínek do povrchu zkušebního tělesa. Principem měření je určení vztahu mezi silou, která vtlačuje tvrdý hrot, a plochou otisku, která vtlačováním hrotu vznikne.

Hlavním cílem bakalářské práce bylo srovnat vlastnosti polyamidu 6 plněného 30 GF v závislosti na dávce ozáření. Teoretická část byla zaměřena na vybrané metody měření tvrdosti se zaměřením na polymery, obecné informace o zkoušeném materiálu a úpravě mechanických vlastností pomocí modifikace.

V praktické části jsem analyzovala, srovnala a graficky znázornila naměřené hodnoty.

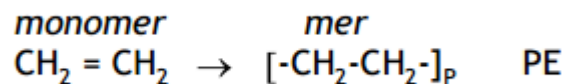
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Makromolekulární látky obvykle nazýváme polymery (poly-mnoho, meros-část). Vznikají z mnoha jednodušších dílů sloučeniny monomeru (monos-jediný).

Termín polymer je neurčitý, protože v něm není přesně specifikována minimální délka nebo velikost molekuly, kterou můžeme nazývat polymerem. Běžně termín polymer používáme pro makromolekuly, které jsou charakterizovány specifickými vlastnostmi, příslušející molekulám a dlouhou řetězcovou strukturou.

Polymer se skládá z jedné základní opakující se jednotky, jeho složení obvykle popisujeme touto stavební jednotkou, která se nazývá mer (1). Tato jednotka se stále opakuje a tvoří kombinaci s dalšími v základní část struktury polymeru. [1]

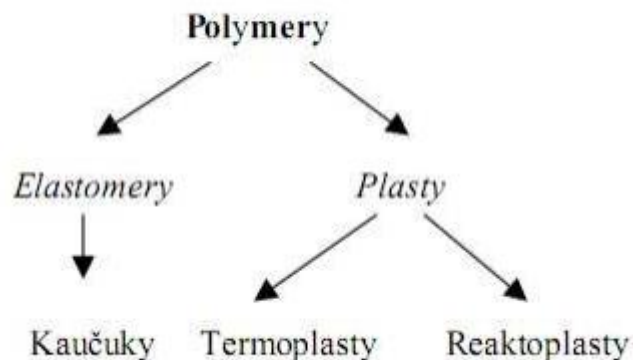


Obr. 1 Stavební jednotka

1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ

Polymery můžeme rozdělit do dvou základních skupin: elastomery a plasty.

Plasty můžeme dále rozdělit na termoplasty a reaktoplasty.



Obr. 2 Základní rozdělení polymerů

Termoplast

Jedná se o polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, do stavu vysoce viskózních neneutronovských kapalin. V tomhle stavu je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi.

Ochlazením pod teplotou tání T_m (semikrystalické plasty), teplotou viskózního toku T_f (amorfní plasty), dojdou do tuhého stavu. Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. Jedná se pouze o fyzikální proces.

K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot, jako je polyetylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd.

Reaktoplast

Jedná se o polymerní materiály, dříve nazývanými termosety. Stejně jako termoplasty v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, ale jen omezenou dobu. Při dalším zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování.

Ochlazování reaktoplastů probíhá mimo formu, neboť zajištění rychlého ohřevu formy pro vytvrzení a následné rychlé ochlazení materiálu by bylo obtížné. Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu materiálu (degradaci).

Patří sem fenolformaldehydované hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, apod.

Eleastomer

Jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, ale jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. [2]

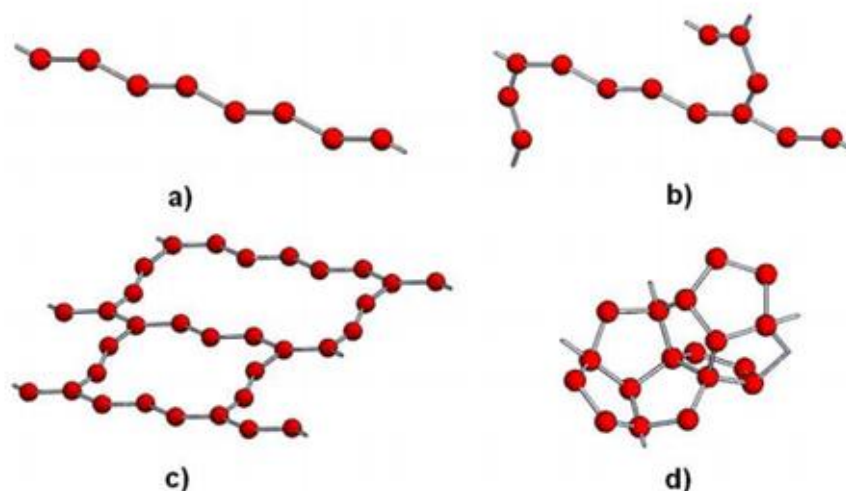
1.1.1 Rozdělení podle tvaru makromolekulárních řetězců

- **lineární polymer** – jednotlivé monomery jsou seřazeny vedle sebe, viz Obr. 3 a), takže vytváří jednoduchý řetězec. Lineární makromolekuly se mohou z prostorových důvodů více přiblížit k sobě a vyplnit tak kompaktnější prostor (polymery potom mají vyšší hustotu např. HDPE).

- **rozvětvený polymer** – makromolekula se vyznačuje hlavním řetězcem, na kterém jsou boční větve, viz Obr. 3 b). Rozvětvené makromolekuly se na rozdíl od lineárních makromolekul nemohou v důsledku bočních větví k sobě dostatečně přiblížit. Proto se vyznačují nižší hodnotou hustoty.

- **zesíťovaný polymer** – v toto případě je několik přímých nebo rozvětvených makromolekulárních řetězců mezi sebou spojeno vazbami, takže vytvářejí jednu takřka nekonečnou makromolekulu – prostorovou síť. Takováto síť vede ke ztrátě tavitelnosti a rozpustnosti polymeru. Polymery mají vysokou tvrdost, tuhost a odolnost proti zvýšené teplotě, avšak nízkou odolnost proti rázovému namáhání. Sítě mohou být řídké (charakteristické pro elastomerní kaučukovité polymery) nebo husté (reaktoplasty). Obr. 3 c)

- **prostorově zesíťovaný polymer** – trojrozměrné monomery, které mají tři aktivní kovalentní vazby vytvářející trojrozměrnou síť, viz Obr. 3 d). Tyto polymery mají zajímavé mechanické vlastnosti. Patří sem epoxidy a fenolformaldehydy [2]



Obr. 3 Tvar makromolekulárních řetězců: a) lineární polymer, b) rozvětvený polymer, c) zesíťovaný polymer, d) prostorově zesíťovaný polymer

1.1.2 Rozdělení polymerů dle výchozích surovin

- **přírodní** – mohou být původní (bílkoviny, škrob, celulóza, kaučuk) a nebo chemicky upravené, ale podobné přírodním polymerům (celuloid, umělé hedvábí, umělá rohovina apod.).

- **syntetické** – vznikají z nízkomolekulárních sloučenin chemickými reakcemi, podle typu reakce můžeme syntetické polymery rozdělit na polymery vzniklé:

- polymerací
- polykondenzací
- polyadící

[1]

1.1.3 Rozdělení podle polarit

- **polární plasty** - mají trvalý dipól (např. PA)

- **nepolární plasty** – nemají trvalý dipól (např. PE, PP,PS)

1.1.4 Dělení z hlediska chemického složení

- polyolefiny
- polystyrény
- chlorplasty
- fluoroplasty
- polyestery
- akryláty
- vinilové polymery
- polyamidy
- polyuretany
- silikony
- deriváty celulózy

1.1.5 Podle druhu přísad

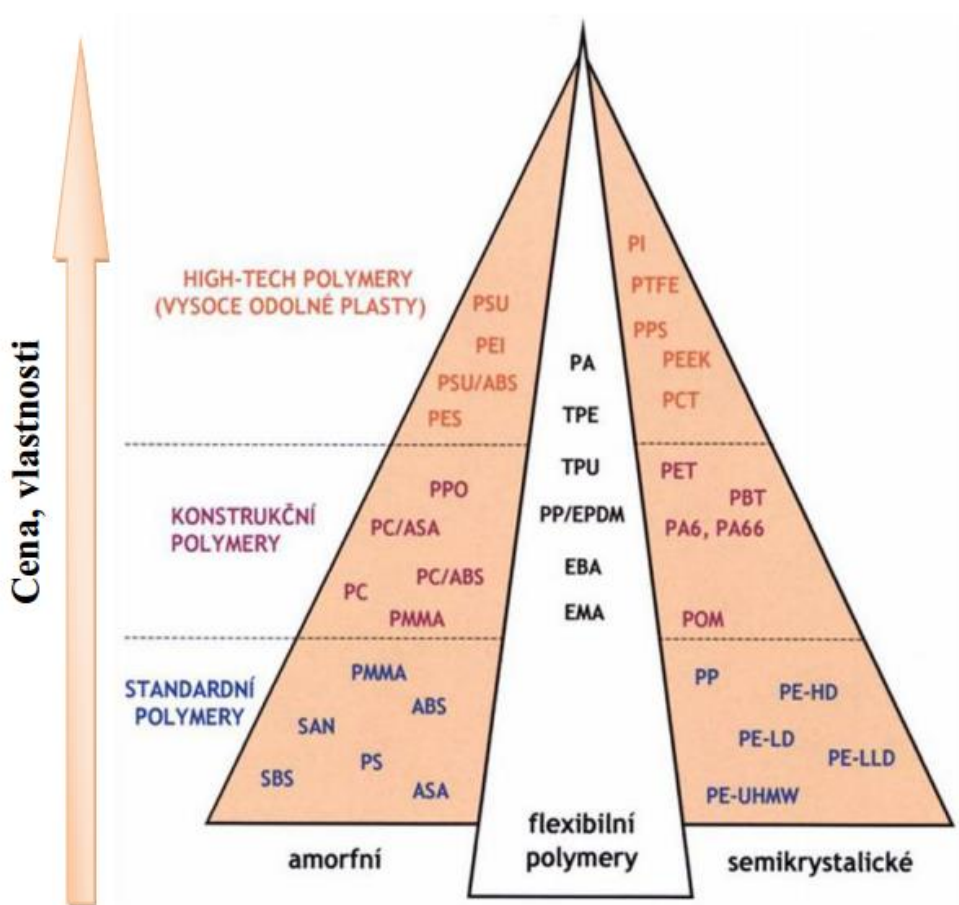
- **neplněné plasty** – neplněný plast je taková hmota, u které množství přísad neovlivňuje vlastnosti polymerní matrice

- **plněné plasty** – plnivo ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti plastu. Makromolekulární látka plní funkci pojiva a určuje základní fyzikální a mechanické vlastnosti hmoty. Přísadou mohou být plniva, stabilizátory, maziva, barviva, změkčovadla, iniciátory, nadouvadla, tvrdidla, retardéry hoření, apod.

1.1.6 Dělení z hlediska aplikací

- **Standardní použití** – jsou součástí běžného života, např. fólie, PVC podlahy atd. Mezi ně patří polyolefiny jako polyetylén, polypropylén (PE, PP), polystyrénové hmoty (PS), polyvinylchlorid (PVC), fenoformaldehydové a močovinoformaldehydové hmoty (PF, UF) aj.

- **Konstrukční plasty** – využívají se u namáhavějších součástí např. ozubená kola z polyamidu (PA), ve stavebnictví jako tyče a profily z polyoximetylénu (POM), polymethylmetakrylát (PMMA) aj.
- **High-tech plasty** – jsou to plasty, které odolávají vysokým teplotám, chemickým vlivům a velkému namáhání. Používají se převážně v letectví, kosmickém, v chemickém a také v automobilovém průmyslu. Patří sem např. polybenzenimid (PBI), polyetherimid (PEI), polysulfon (PSU), polyfenylsulfid (PPS), tetrafluoretylén (PTFE), polyimidy (PI). [1]



Obr. 4 Rozdělení polymerů dle jejich aplikace a nemolekulární struktury

2 CHARAKTERISTIKA POLYAMIDU

Polyamidy patří mezi tzv. konstrukční plasty, používáme je k výrobě namáhaných technických součástí. Vynikají vysokou mechanickou pevností při statickém a dynamickém namáhání, nízkým tečením i při dlouhodobém zatížení a použitelností v širokém rozsahu teplot.

Dnes je využívána řada základních druhů polyamidů, které se liší sice svým chemickým složením a způsobem výroby, ale podobají se základními vlastnostmi. Označují se čísly, která charakterizují počet atomů uhlíku výchozích sloučenin.[3]

2.1 Výroba polyamidu

Polyamidy se připravují převážně polykondenzací diaminů (s šesti atomy uhlíku) a dikarbonových kyselin (s šesti, deseti nebo dvanácti atomy uhlíku).

Polykondenzací aminokarbonových kyselin (s šesti, jedenácti nebo dvanácti atomy uhlíku) v přítomnosti vody.

Popřípadě iontovou polymerací, kterou můžeme provádět také přímo ve formě (výrobky beztlakově odlévat), vzniká tzv. alkalický polyamid.

Jednotlivé základní polyamidy se vyrábějí v četných modifikacích, včetně plněných a lehčených typů. Tím vzniká velké množství plastů určených pro nejrozličnější aplikace:

- ložiska
- ozubená kola
- ochranné přilby
- různé jiné technické součásti.

Výjimečné postavení zaujímá typ polyamidu, který vzhledem k prostorovému uspořádání makromolekul nevytváří krystalickou strukturu, ale amorfní, i v silných vrstvách zcela transparentní materiál. Vyniká proti ostatním polyamidům nízkým smrštěním (0,4 – 0,6%), a tudíž i užšími tolerancemi pro vstřikované výrobky.

2.2 Rozdělení polyamidů

Podle výrobního způsobu je možno polyamidy dělit do těchto skupin:

- polyamidy na bázi ω -aminokyselin a jejich laktonů
- polyamidy na bázi dikarboxylových kyselin a diaminů
- polyamidy vícesložkové (např. diamin a karboxylová kyselina + ω -aminokyselina)
- polyamidy obsahující v řetězci aromatické jádro

Mezi technicky nejdůležitější a nejvíce užívané patří polyamidy první a druhé skupiny.

[4]

2.3 Vlastnosti polyamidu

Polyamidy jsou v přírodním stavu mléčné, houževnaté, s dobrými kluznými vlastnostmi a odolné proti opotřebení. Na rozdíl od jiných termoplastických materiálů mají velmi ostrý bod tání.

Bod tání různých druhů polyamidů:

PA 4 - 296°C

PA 6 - 215 až 220°C

PA 6,6 - 255 až 260°C

PA 6,10 - 209°C

PA 11 - 185°C

Standardní polyamidy (polymerační stupeň asi 150 až 300) tvoří málo viskózní taveninu, kdežto vysokomolekulární polyamidy (polymerační stupeň 500 až 600) se vyznačují až desetinásobnou viskozitou taveniny než standardní polyamid (při teplotě 250°C). To samozřejmě ještě rozšiřuje možnosti využití těchto vysokomolekulárních polyamidů, zejména pro technologii vytlačování (výroba trubek) a vyfukování (výroba lahví apod.).

Vysokomolekulární polyamid má také širší obsah bodu měknutí než standardní polyamidy. Všechny polyamidy jsou citlivé na styk vzdušného kyslíku s taveninou polyamidu. Proto musí být k oxidační degradaci dostatečně stabilizovány.

Mechanismus krystalizace všech komerčně vyráběných je stejný a stupeň krystalizace ovlivňuje většinu užitkových vlastností výrobku včetně rozměrové stability.

Polyamidy mají malý koeficient tření (velkou kluznost) a výbornou odolnost proti oděru. Polyamidy se nerozpouštějí v běžných rozpouštědlech (uhlovodících, vyšších organických kyselinách, ketonech, esterech alkoholech).

Charakteristickou vlastností polyamidů, ovlivňující rozměrovou stabilitu výstřiku v negativním smyslu je jejich navlhavost. Sklonem k absorpci vody se jednotlivé druhy polyamidů značně liší. Proto pro výrobu rozměrově přesných výrobků je nutno dát přednost méně navlhavým typům (PA 11, PA 12) před levnějšími, ale více navlhavými typy (PA 6, PA 6,6).

Polyamidy vyššího číselného označení (nad PA 6) se vyznačují velkou odolností vůči oděru a velkou pevností. Se stoupajícím typovým číslem klesá stupeň krystalinity, bod tání a nasákavost a vzrůstá ohebnost.

Pro svou malou navlhavost, dobrou rozměrovou stálost i fyzikálně mechanické vlastnosti jsou technicky nejzajímavější PA 6,10 a PA 6,6.

U vícesložkových polyamidů jejich vlastnosti značně ovlivňuje přidáním dalšího monomeru do makromolekuly polyamidu. Snižuje se tak jejich bod tání i další vlastnosti, jako je rozpustnost, tažnost, tvrdost apod. Používá se jich na výrobu fólií a nátěrových hmot a pro svou dobrou rozpustnost se zpracovávají také plastikářskými technologiemi.

U polyamidů s aromatickým jádrem v řetězci ovlivňuje aromatické jádro některé vlastnosti:

- zvyšuje tuhost řetězců
- elastický modul a bod tání
- snižuje absorpci vlhkosti i rozpustnost.

Barvitelnost PA je dobrá v různých odstínech. U typů s přísadami a plnivými jsou možnosti barev omezené. Výrobky jsou neprůhledné, v tenkých stěnách průsvitné. [4]

2.4 Atmosferické stárnutí polyamidu

Polyamidy mají poměrně malou odolnost proti povětrnostnímu stárnutí. Již během pár měsíců vystavení přímému účinku slunečního záření dochází za spolupůsobení vzdušného kyslíku, vlhkosti a kyselých reagujících plynných nečistot ovzduší k změnám barvy, k tvorbě trhlinek, které představují vážné narušení materiálu, jelikož jsou jednou z hlavních příčin prudkého poklesu mechanických vlastností.

Trhlinky se tvoří nejprve na povrchu vystaveném přímému účinku slunečního záření a pak se rozšiřují i na stranu, která přímému účinku slunečního záření vystavená nebyla. S postupujícím časem se množství trhlinek a jejich rozměry zvětšují a trhlinky pronikají do větší hloubky.

Odolnost proti povětrnostnímu stárnutí polyamidu je hlavně závislá na relativní molekulové hmotnosti polymeru. Mezi jednotlivými typy polyamidu nejsou v odolnosti ke klimatickým vlivům technicky významné rozdíly.

Při použití za nepřístupu světla nebo v místnosti s rozptýleným denním světlem nebo elektrickým osvětlením, při normální teplotě nemění polyamidy své chemické složení. V důsledku sekundární krystalizace nebo změn v obsahu vlhkosti v polymeru však může i v takovýchto případech docházet ke změnám mechanických vlastností.

Zvýšení odolnosti polyamidu proti povětrnostnímu stárnutí lze dosáhnout pomocí směsi jodidu draselného a naftenátu měďnatého v množství 0,5%. Velmi dobré stabilizační účinky jeví octan měďnatý a octan manganatý. Vysokou stabilizační účinnost mají aktivní saze. Polyamid s přídavkem 1% kanálových sazí má pětkrát až osmkrát delší životnost než polymer nestabilizovaný. [5]

2.4.1 Změny vzhledu

Při povětrnostním stárnutí nebo při ozařování umělými zdroji ultrafialového záření polyamidy žloutnou a po delší době stárnutí někdy toto zbarvení přechází ze světlé v hnědý odstín. Barva se změní především na povrchu, který je vystaven přímému působení slunečního záření nebo umělým zdrojem záření UV. Při ozařování v inertní atmosféře je zbarvení intenzivnější než při ozařování na vzduchu nebo v kyslíku.

2.4.2 Změny chemických vlastností

Polyamid skladovaný nebo používaný za nepřístupu světla při normální teplotě nemění své mechanické vlastnosti po delší dobu.

Působením slunečního záření se rychle zhoršují mechanické vlastnosti materiálu, zejména tažnost. Daný jev je zvláště patrný u tenkých fólií. Při větších tloušťkách jsou změny mechanických vlastností polyamidu pozvolnější.

2.4.3 Změny elektrických vlastností

Při povětrnostním stárnutí polyamidu dochází k velkým změnám jeho elektrických vlastností. Klesá hodnota vnitřního izolačního odporu, vzrůstá ztrátový činitel $\tan \delta$, kdežto relativní permitivita se v průběhu stárnutí mění jen nevýrazně.

2.5 Odolnost polyamidů proti působení chemikálií

Nejslabším článkem polyamidového řetězce je vazba CO-NH. Většina destrukčních reakcí, vyvolaných působením chemických činidel, je také provázena jejich štěpením. Zvláště snadno podléhá peptidová vazba hydrolytickému štěpení v přítomnosti kyselin a alkálií. [5]

2.6 Vliv ionizujícího záření na polyamidy

Polyamidy podléhají působení ionizujícího záření síťování. U polyamidu 66 bylo zjištěno, že s rostoucí dávkou záření dochází ke snižování krystalinity. To je způsobeno růstem hustoty síťových vazeb.

Tento růst není vždy úměrný dávce záření, neboť zároveň se síťováním dochází i k degradaci, zejména při ozařování polyamidu v přítomnosti kyslíku. Při působení ionizačního záření se z polyamidu odštěpují plynné produkty.

S rostoucí dávkou záření se u polyamidů zvyšuje modul pružnosti, klesá tažnost a rázová houževnatost. Pevnost v tahu se nejprve zvyšuje a při větších dávkách opět klesá.

3 POLYMERY VHODNÉ K OZAŘOVÁNÍ

Polymery s převažujícím síťováním	Polymery s převažující degradací
Polyetylén	Polyisobutylén
Polypropylen	Poly(α -methylstyren)
Polystyren	Poly(vinyliden chlorid)
Poly(vinylchlorid)	Poly(vinyl fluorid)
Poly(vinyliden fluorid)	Polychlorotrifluoroethylene
Poly(vinyl alkohol)	Polyakrylonitril
Poly(vinyl acetat)	Polyvinyl butyral
Kopolimer etylenu a vinyl acetatu	Poly(methyl metakrylát)
Poly(vinyl methyl ether)	Polymethakrylonitril
Polybutadien	Poly(methakrylamid)
Polychloropren	Polyoxymethylen
Kopolymer styrenu a akrylonitrilu	Poly(propylen sulfid)
Kopolymer styrenu a butadienu	Poly(ethylen sulfid)
Přírodní kaučuk	Polyanin
Chlorovaný polyetylén	Polylysin
Chloro-sulfovaný polyetylén	DNA
Polyamid	
Polyester	
Polyuretan	
Polyakrilat	
Polyakrilamid	
Polydimetylsiloxan	
Kopolymer vinylidenfluoridu a hexafluoropropylen	
Kopolymer etylenu a tetrafluoronu	
Polydimethylfenylsiloxan	
Fenol formaldehyd	
Močoviny formaldehyd	
Melaminoformaldehyd	

Obr. 5 Klasifikace polymerů podle jejich reakce na ionizující záření [2]

Při hodnocení vhodnosti polymerů pro ozařování by měli být vzaty v úvahu i některé další faktory uvedené níže:

Teplota – zvýšená teplota také podporuje vyšší míru radiačně-chemické přeměny v polymeru. To je zvláště patrné při průchodu taveninou nebo při teplotě skelného přechodu.

Fázový stav polymeru – účinnost radiační přeměny v polymerech se zvyšuje jejich přechodem ze skelného na vysoce elastický stav a ještě víc se zvětšuje při přechodu do viskózního stavu. Pokud polymer obsahuje viskózní a krystalické fáze bude radiačně-chemická přeměna probíhat rychleji v amorfní části a na rozhraní, než v krystalické fázi.

Vady v polymerních materiálech – tuhé polymery vždy obsahují některé druhy vad: mikrodutiny, mikrotrhliny, nečistoty, rozhraní, atd., které ovlivňují prostorové lokalizace energie ionizujícího záření. Proto, radiační odolnost polymeru závisí také na jeho historii.

Tlak – rychlost a směr transformace polymerů jsou hluboce ovlivněny vnějším tlakem, například při vysokém tlaku (okolo 3GPa) se snižuje degradace polymeru. U elastomerů vystavených velkému tlaku při radiačně-chemickém procesu, probíhá síťování 3 - 15x rychleji než u atmosférického tlaku.

Ozáření – kombinované působení ionizujícího záření, UV záření, viditelného a infračerveného světla způsobí ještě hlubší změny ve fyzicko-chemických vlastnostech polymerů. Tuto skutečnost je třeba vzít v úvahu při hodnocení radiační odolnosti. [5]

4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY PLASTŮ

4.1 Příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa se připravují dvojím způsobem:

- Přímo ze zkušebního materiálu jejich vulkanizací, lisováním, vstřikováním nebo vytvrzováním ve formách, které jsou stejného tvaru jako zkušební tělesa. Také se dají vysekávat ze vzorku.
- Připravují se z hotových výrobků nebo také polotovarů, ze kterých se vyřezávají, vysekávají nebo se dají připravit obráběním.

Zkušební tělesa by se předem neměla vystavovat fyzikálně chemickým, mechanickým a tepelným namáháním, aby nedošlo k ovlivnění a znehodnocení výsledků zkoušek. Výjimkou jsou pak tělesa, která se těmito podmínkám vystavují záměrně pro zkoušky stárnutí, tepelné odolnosti, koroze aj.

Před tím, než se přistoupí k samotnému zkoušení těles, by se měly tyto zkušební tělesa nechat odležet, aby dosáhly rovnovážného stavu. Spočívá to v tom, že se zkušební tělesa nechávají po nějakou dobu odležet v klimatických prostorách za podmínek smluvní teploty a při relativní vlhkosti. Takovéto přípravě vzorku se říká kondicionání. [7]

4.2 Zkoušky statické krátkodobé

- Tahové zkoušky
- Tlakové zkoušky
- Ohybové zkoušky
- Smykové a torsní zkoušky
- Zkoušky tvrdosti

4.1.1 Zkouška tvrdosti

Tvrdot je definovaná jako odolnost materiálu proti deformaci, zejména trvalé deformace nebo poškrábání. Tvrdot je čistě relativní pojem a neměla by být zaměňovaná s opotřebením a odolností proti oděru plastů. Vzhledem k tomu se plasty značně liší s ohledem na tvrdost, a proto jeden typ zkoušky tvrdosti nepokryje celý rozsah tvrdosti polymerních materiálů.

Používanými normovanými metodami pro plasty jsou měření tvrdosti podle Brinella, Vickerse, Rockwela, Shore, atd. Každá z těchto metod se dále dělí v závislosti na použitém tlaku a tvaru zkušebního tělíska i na rozměrech zkušebního vzorku. Účel a použití jednotlivých měřících metod je obsaženo v jednotlivých prepisech norem.

Zkoušky tvrdosti se můžou dělit podle různých metod :

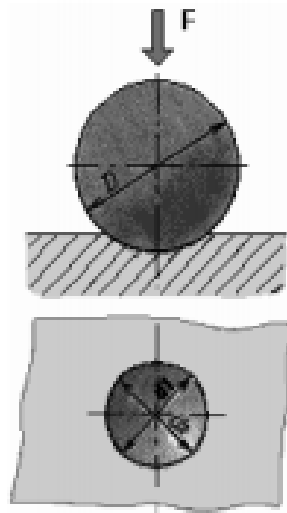
- Vrypové (Martens)
- Vnikající (Brinell, Knoop, Rockwell, Vickers)
- Odrazové (Shore)
- Kyvadlové

Podle charakteru zatěžující síly :

- Statické (tvrdost podle Brinella, Knoop, Rockwella, Vickerse)
- Dynamické (Poldiho kladivo, Baumanovo kladivo)

Měření tvrdosti podle Brinella

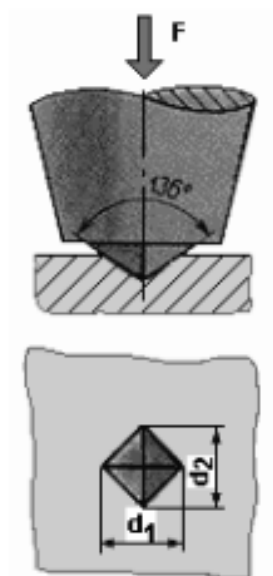
Zkouška spočívá ve vtlačování vnikacího tělesa, vyleštěnou kuličkou o průměru D , do povrchu zkušebního tělesa silou F po stanovenou dobu. Následně se odlehčí a změří se průměr d a vypočítá povrch vtisku A .



Obr. 6 Zkouška tvrdosti dle Brinella

Měření tvrdosti podle Vickerse

Zkouška spočívá ve vlačování diamantového pravidelného čtyřbokého jehlanu o daném vrcholovém úhlu 136° silou F po danou dobu t . Následně se změří délka obou úhlopříček vtisku.

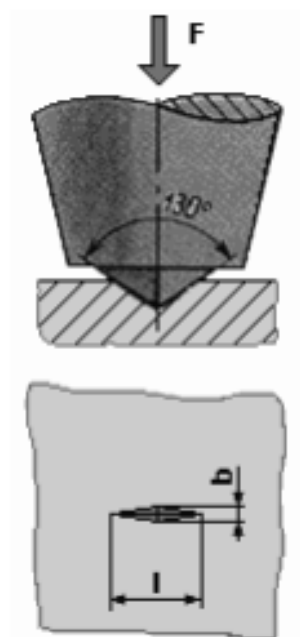


Obr. 7 Zkouška dle Vickerse

Měření tvrdosti podle Knoop

Do povrchu materiálu se vtlačuje čtyřboký diamantový jehlan pod zatěžující silou F , který působí kolmo na povrch vzorku.

Metoda je vhodná pro tenké plastové desky, tenké kovové desky, křehké materiály a nebo pro materiály u kterých nesmí být použita síla větší než 3,6.



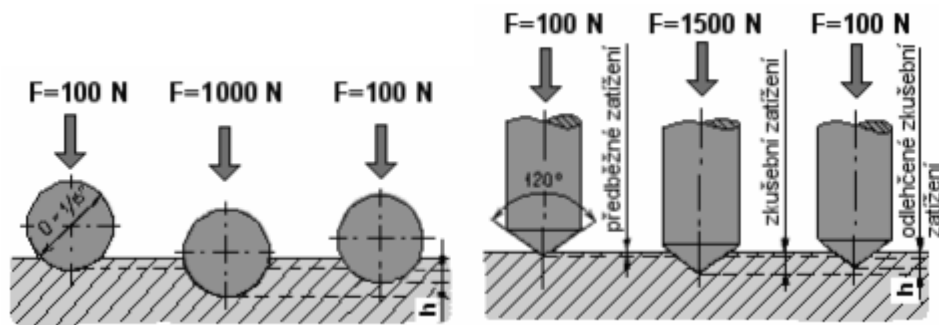
Obr. 8 Zkouška podle Knoop

Měření tvrdosti podle Rockwela

Měřítkem pro posouzení tvrdosti není u této metody plocha vtisku, ale jeho hloubka. Pro měkké materiály se používá ocelová kulička o průměru 1,59 mm, pro tvrdé materiály se používá diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120° .

Diamantový kužel či ocelová kulička, dotýkající se povrchu zkoušeného předmětu, se nejprve předběžně zatíží silou 100 N. Potom se pozvolna zvyšuje zatěžovací síla tak, aby se za 3 až 6 sekund dosáhlo zatížení předepsané normou.

Následně se zatěžující síla zmenší až na 100 N a v tomto stavu se zjistí přírůstek hloubky vtisku h , který nastal proti výchozí poloze při 100 N.



Obr. 9 Zkouška tvrdosti podle Rockwella (HRB, HRC)

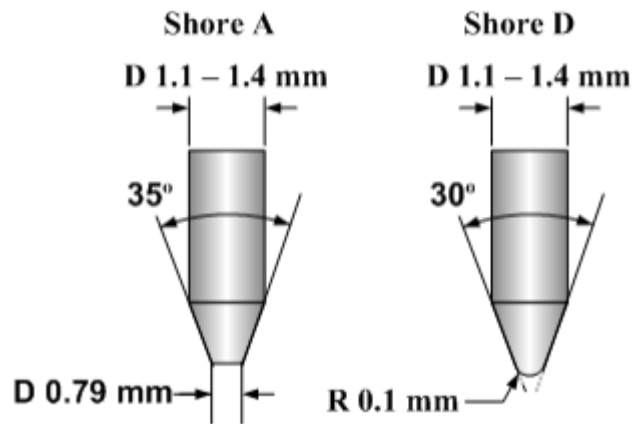
Měření tvrdosti podle Shore

Tvrdot je nepřímo úměrná vniku hrotu do zkoušeného materiálu a vyjadřuje se v jednotkách Shore A nebo Shore D. Při překročení 85 jednotek stupnice Shore A se přechází na měření tvrdosti Shore D.

Podstatou zkoušky Shore je měření odporu proti vtlačení hrotu předem určeného tvaru do materiálu. Tvrdot je dána hloubkou vtisku.

Charakteristickou vlastností této metody je jednoduchá obsluha přístroje, přímé zobrazení tvrdosti a možnost provádět měření na výrobcích mimo laboratoř tak, že se přístroje jednoduše přiloží k měřenému výrobku. Podmínky měření tvrdosti plastických hmot metodou Shore popisuje norma ČSN ISO 7619.

Zkušební těleso musí být rovné, hladké a bez viditelných defektů. Jednotlivá měření se musí provádět v místech vzdálených nejméně 12 mm od okraje a od sebe vzdálených nejméně 6 mm. Tloušťka musí být minimálně 6 mm, ale lze ji dosáhnout složením z několika tenčích vrstev.



Obr. 10 Zkušební hroty tvrdoměru typu Shore A a Shore D

4.1.2 Faktory ovlivňující výsledky měření

U všech zkoušek tvrdosti je třeba mít na zřeteli následující ovlivňující faktory:

- teplotu vzorku
- dobu zatížení
- rychlost zatížení
- tloušťku vzorku
- plochu vzorku
- podložení vzorku
- vzdálenost hrotu od okraje vzorku
- přesnost zatěžování

Odchyluje-li se skutečná teplota od požadovaných 23 °C, což v netemperovaných místnostech nelze zajistit, lze zjistit změnu tvrdosti do cca 4 %. Zkušební síla musí působit po předepsanou dobu a bez nárazu.

5 SÍŤOVÁNÍ

Je to chemický proces, při kterém se jednotlivé molekuly plastů chemicky navzájem spojují. V ideálním případě dojde k začlenění všech molekul do této sítě. Tento chemický proces může být u mnohých plastů spuštěn ozářením.

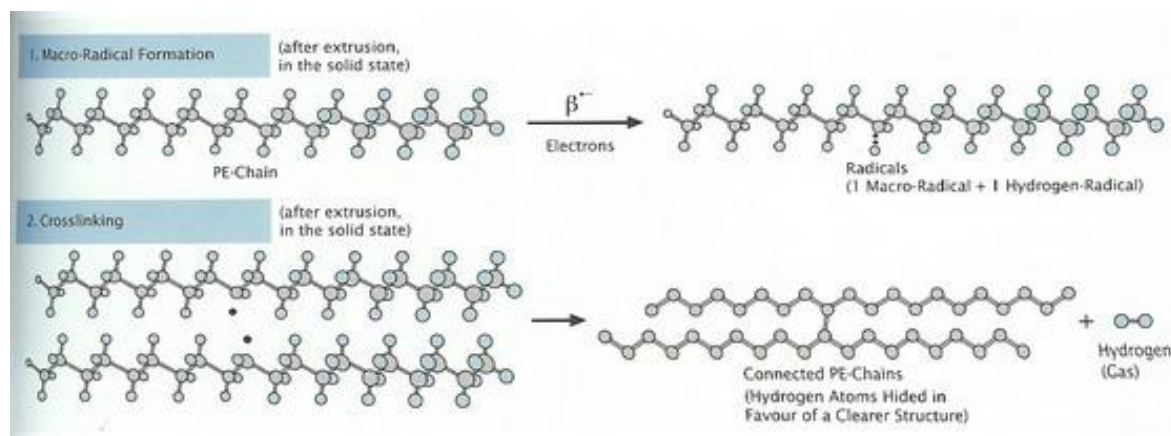
Tím jsou přetvářeny např. termoplasty. Termoplasty pak vykazují při určitých teplotách vlastnosti elastomerů. U elastomerů nebo částečně síťovaných systémů jsou ozářením vytvořeny další místa síťování (jsou ozářením získána dodatečně nesíťovaná místa).

Nejdůležitějšími vlastnostmi u síťovaných systémů jsou tažnost a pružnost. Tyhle vlastnosti přetrvávají i při dlouhodobém teplotním a mechanickém zatížení. Pro síťování za použití ozáření nejsou často zapotřebí žádné další přísady. Síťování probíhá až po zpracovatelském procesu. (po vstřikování, vytlačování nebo vyfukování).

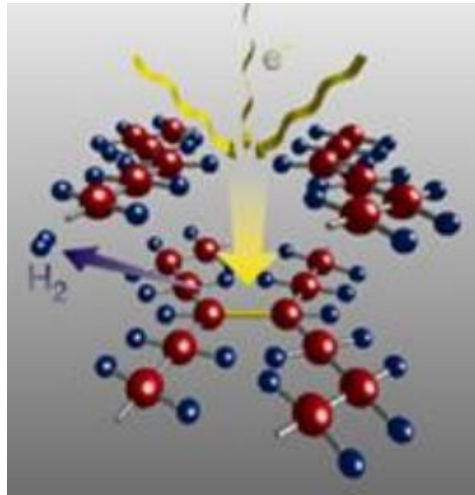
Radiační síťování probíhá při pokojové teplotě bez dodatečného namáhání výrobků. Používaná záření (beta, gama) na základě svých energií vyvolávají chemické procesy. Pro radiační síťování je důležité, aby materiál při působení ionizačního záření převážně síťoval a ne degradoval.

U některých polymerů resp. receptur je potřebný přídavek pomocného síťovacího činidla. U komerčních směsí pro radiační síťování jsou v současnosti používány síťovací činidla zvláště ke zlepšení výsledných vlastností materiálu, k redukci dávek záření, ke snížení hořlavosti, atd.

Nejčastěji se provádí beta nebo gama zářením.



Obr. 11 Schéma síťování PE elektronovým zářením

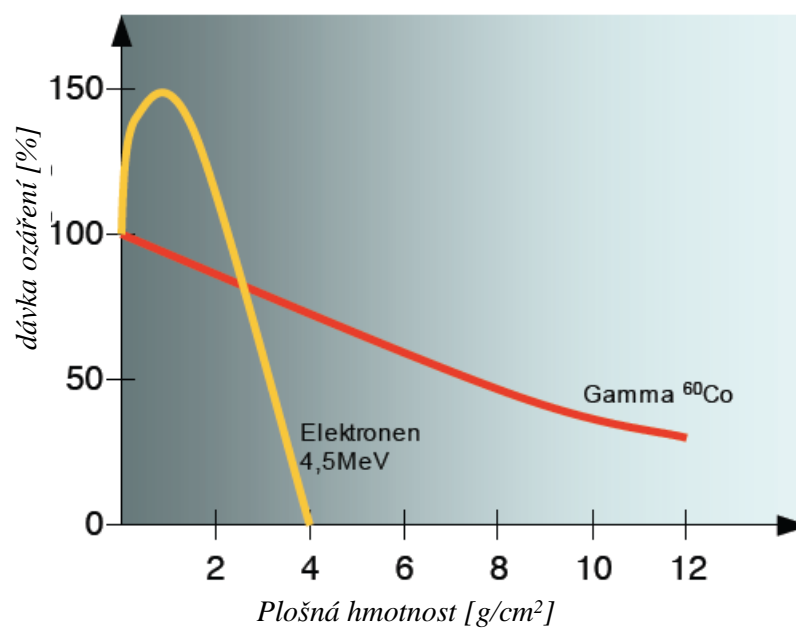


Obr. 12 Radiační zesíťování [9]

5.1 Rozdíly mezi elektronovým beta zářením a zářením gama

U těchto jejich účinkům odpovídajících ionizujících záření se jedná buď o elektromagnetické vlny (záření gama) nebo o částicové záření (elektronové - beta záření).

Díky těmto technologiím dojde u polymerních materiálů k radiačnímu síťování. Síťování určuje hlavně dávka ozáření, která změní vlastnosti materiálu. Materiál absorbuje množství energie na jednotku hmoty.



Obr. 13 Schopnost pronikání elektronového- β a gama- γ záření

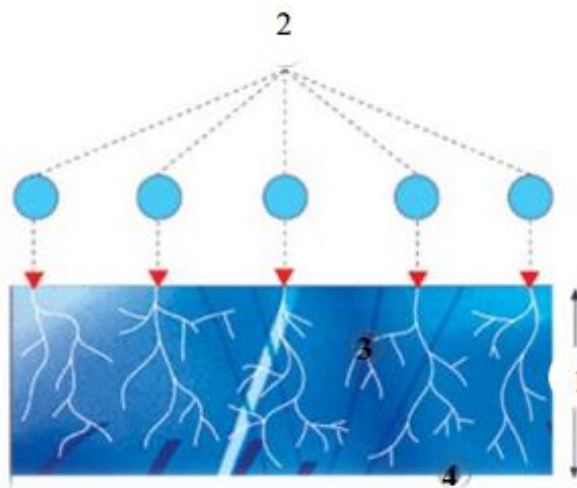
Při sít'ování polymerních materiálů je potřebná relativně vysoká dávka záření, proto se využívá nejčastěji elektronové beta záření.

Hlavní rozdíl mezi oběma druhy záření spočívá ve schopnosti pronikání materiálem a intenzitě dávky ozáření.

5.1.1 Sít'ování pomocí beta záření

Toto sít'ování probíhá v zařízeních s urychlovači elektronů. Základní princip elektronového urychlovače je srovnatelný s Braunovou elektronkou nebo rentgenkou. Žhavicí katoda emituje elektrony, které jsou urychlovány v elektromagnetickém poli. Rychlost elektronů je pak závislá na střídavém napětí mezi žhavicí katodou a anodou. Pracuje se zde s vysokými intenzitami dávek ozáření, ale s omezenou hloubkou vniknutí závislou na energii (viz. Obr. 14). Užité hloubka vniknutí je nastavitelná volbou energie elektronů.

Také se využívá ozáření ze dvou stran, které je hospodárnější. Elektronové beta záření se používá pro sít'ování většiny polymerních materiálů, protože potřebují vysoké dávky záření, které jsou v urychlovačích elektronů dodány během několika sekund.



1 hloubka vniknutí elektronů, 2 primární elektrony

3 sekundární elektrony, 4 ozářený materiál

Obr. 14 Průnik beta záření [9]

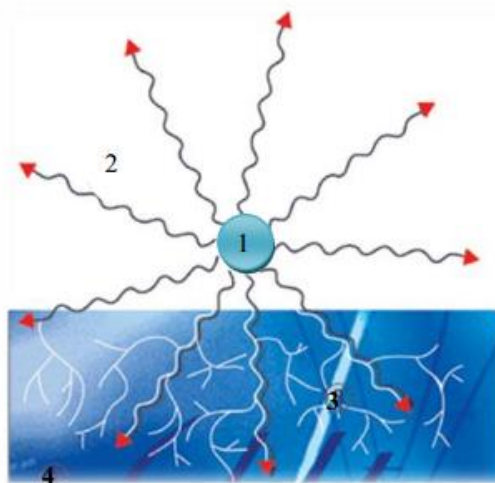
5.1.2 Sít'ování pomocí gama záření

Záření gama má vysokou schopnost průniku už při nízké intenzitě záření. Výkon dávky ozáření je závislý na instalované celkové aktivitě zdroje záření.

Jako zdroj záření se u průmyslových zařízení se zářením gama používá radionuklid kobaltu (Co^{60}), který emituje záření gama se střední energií cca 1,3 MeV a vysokou hloubkou průniku.

Celkové dávky ozáření se dosahuje opakovaným objížděním palet kolem zdroje záření. Doba ozařování činí v závislosti na požadované dávce až několik hodin. U gama záření nelze samostatný zdroj tohoto záření vypnout. Proto jsou zdroje Co^{60} ponořeny do vodní nádrže. Sloupec vody nad zdrojem záření dokonale plní funkci clony.

Gama záření se používá pro sít'ování složitých objemových tvarových dílů, neboť poskytuje oproti elektronovému záření výhody z hlediska větší hloubky proniknutí. Hlavní oblastí použití je v současnosti radiační sterilizace zdravotnických produktů a potravin.



1 zapouzdřený zdroj záření Co^{60} , 2 γ - kvanta

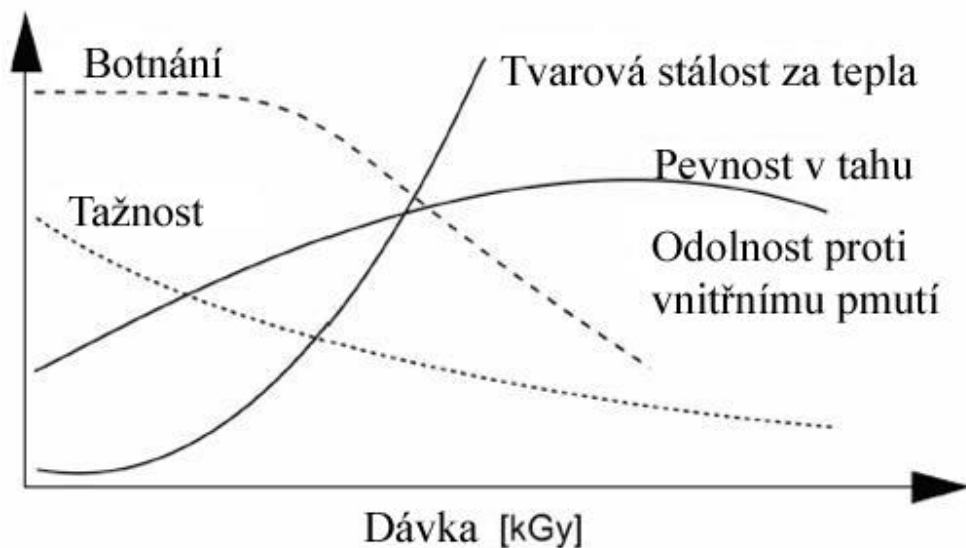
3 sekundární elektrony, 4 ozářený materiál

Obr. 15 Průnik gama záření [8]

5.2 Zlepšení vlastností plastů

Termoplasty se pomocí radiačního sít'ování převádí na takové termoplasty, které se chovají ve spoustě případů jako elastomery. Elastomerické vlastnosti se projevují přede-

vším nad teplotou tání krystalů, respektive teplotou skelného přechodu neupraveného polymeru. Pomocí síťování odolává původně termoplastický výrobek daleko vyšším teplotám než dříve.



Obr. 16 Charakteristika vlastností termoplastů v závislosti na dávce ozáření

Radiační síťování mění následující mechanické vlastnosti plastů:

- nárůst modulu
- zvýšení pevnosti (zejména z dlouhodobého hlediska)
- pokles poměrného prodloužení při přetržení (tažnosti)
- redukce studeného tečení – (creepu)
- nárůst tvrdosti (Shore)
- zlepšení meze únavy (při střídavém ohybu)
- zlepšení povrchové pevnosti vůči otiskům a nespojitosti vstříkovaných dílů
- zlepšení odolnosti proti vnitřnímu pnutí a redukce přenosu a růstu
- zlepšení zotavení materiálu „memory effect“
- zlepšení ošetrivzdornosti (podmíněně)
- zlepšení chování při dlouhodobém zatížení vnitřním tlakem

U tepelných vlastností dochází v důsledku sít'ování ke

- zlepšení tvarové stálosti za tepla
- cílenému nastavení tepelné roztažnosti (Hot-Set / Hot-Modul)
- zlepšení trvalé deformace při zatížení tlakem (tahem)
- zvýšení tepelné odolnosti
- zvýšení odolnosti proti vniknutí žhavého drátu
- vyšší odolnost vůči stárnutí

K zlepšeným chemickým vlastnostem patří:

- snížení rozpustnosti
- zlepšení odolnosti proti botnání
- zvýšení odolnosti proti vzniku trhlin způsobených pnutí
- zlepšení odolnosti vůči hydrolýze a zvýšená olejuvzdornost

5.3 Použití ionizačního záření v praxi*Tab. 1 Příklad vybraných aplikací v průmyslu a vlastností získaných po ozáření*

Aplikace	Materiál	Zlepšené vlastnosti
Palivová potrubí pro automobilový průmysl	Polyamid 6, 66, 11 a 12	Tepelná odolnost Odolnost proti hydrolýze Pevnost v tlaku Pevnost
Těsnění Profily	PE, TPE	Odolnost proti chemikáliím Tvarová stálost za tepla Tlaková zpětná deformovatelnost Snížené studené tečení – (kríp)

		Možný nárůst tvrdosti Shore
Kabely a izolace vodičů	PE, TPU, PUR, PVC	Tepelná odolnost Odolnost proti okujím ze svařování Odolnost proti chemikáliím Odolnost proti otěru
Hadice pro zdravotnickou techniku	PE	Sterilizovatelnost horkou párou

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

6.1 Cíl práce

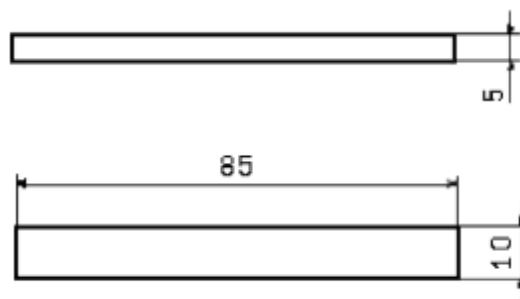
Hlavním tématem této práce bylo sledovat závislost množství dávky ozáření elektronovým beta zářením na vlastnosti vybraného polymerního materiálu. Prováděli jsme zkoušku mikrotvrdoti reprezentovanou vtiskovou tvrdostí H_{IT} a tvrdostí dle Vickerse HV .

1. Vypracování literární studie na dané téma
2. Příprava zkušebních těles pro experimentální část
3. Provedení experimentu
4. Vyhodnocení naměřených výsledků

6.2 Zkušební vzorky a zvolená metoda

Pro praktickou část byl vybrán vzorek PA 6, konkrétně Frianyl B63 VN GV30 (Pa 6 30% GF) od výrobce Frisetta. Tento materiál byl ozářen elektronovým beta zářením dávkami 0, 15, 30, 45, 66, 99, 132, 165, 198 kGy. Pozorovali jsme rozdíly mezi nemodifikovaným vzorkem a osmi modifikovanými vzorkami. Vzorky byly vyrobené vstřikováním. Měření bylo prováděno metodou DSI, pomocí zkoušky dle Vickerse.

Tvar zkušebních těles :



Obr. 17 Zkušební vzorky

6.3 Zkouška mikrotvrdosti

Měření bylo prováděno na stroji MICRO-COMBI TESTERU firmy CSM. Zvolené zatížení bylo 0,5 N a 1N. Měření bylo prováděno vždy na každém vzorku 10 krát.

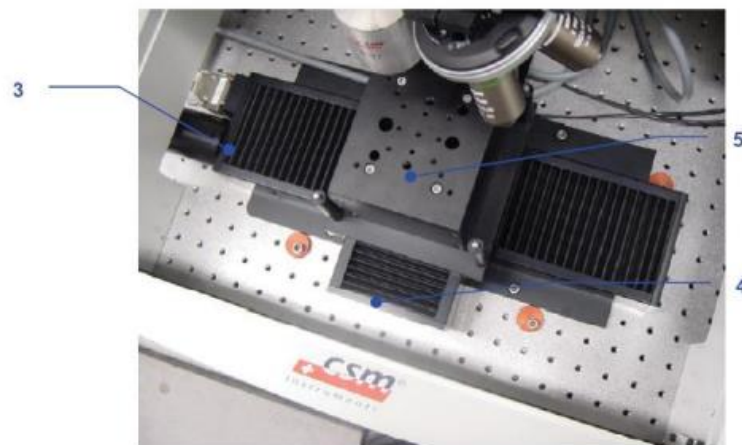


Obr. 18 Příklad přístroje CSM

6.3.1 Parametry stroje



Obr. 19 Popis přístroje CSM 1



Obr. 20 Popis přístroje CSM 2

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1- Měřicí hlava | 6- Optický mikroskop |
| 2- Univerzální držák vzorků | 7- Modulová hlava |
| 3- X posun | 8- Anti- vibrační sloup |
| 4- Y posun | 9- Optický senzor |
| 5- Z posun | 10- Horní kryt stolu |

6.4 Postup měření

Na každém vzorku bylo provedeno 10 měření, pro jednotlivé zatížení. Měření proběhlo v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství Fakulty technologické ve Zlíně na zařízení Micro-Combi Tester od firmy CSM Instrumens. U zkoušky byly vyhodnoceny následující veličiny :

- vtisková tvrdost H_{IT}
- vtiskový modul pružnosti E_{IT}
- tvrdost dle Vickerse HV
- creep C_{IT}
- elastická část práce vtisku W_{elast}
- plastická část práce vtisku W_{plast}
- celková mechanická práce vtisku W
- koeficient zpětné relaxace η .

6.5 Materiál

Díky své fantastické kombinaci mechanických a teplotních vlastností při relativně nízké ceně jsou polyamidy nejčastěji používanými konstrukčními plasty.

Rozdíly mezi PA 66 a PA 6

PA 66

PA 6

Tab. 2 Rozdíly PA 6 a PA 66 [9]

Nižší navlhavost	Vyšší rázová houževnatost
Vyšší tuhost	Lepší tlumení
Větší teplotní odolnost	Lepší zpracovatelnost
Větší odolnost proti oděru	Menší náchylnost k deformaci
Větší odolnost proti hydrolyze	Lepší kvalita povrchu

	Nižší cena
Možnost samozhášivosti	
Velmi dobré elektrotechnické vlastnosti	
Rozměrová stálost	
Dlouhodobá funkčnost za vysokých teplot	
Dobrá houževnatost i za nízkých teplot	
Vynikající poměr výkonnosti k ceně	

6.6 Zpracování naměřených dat

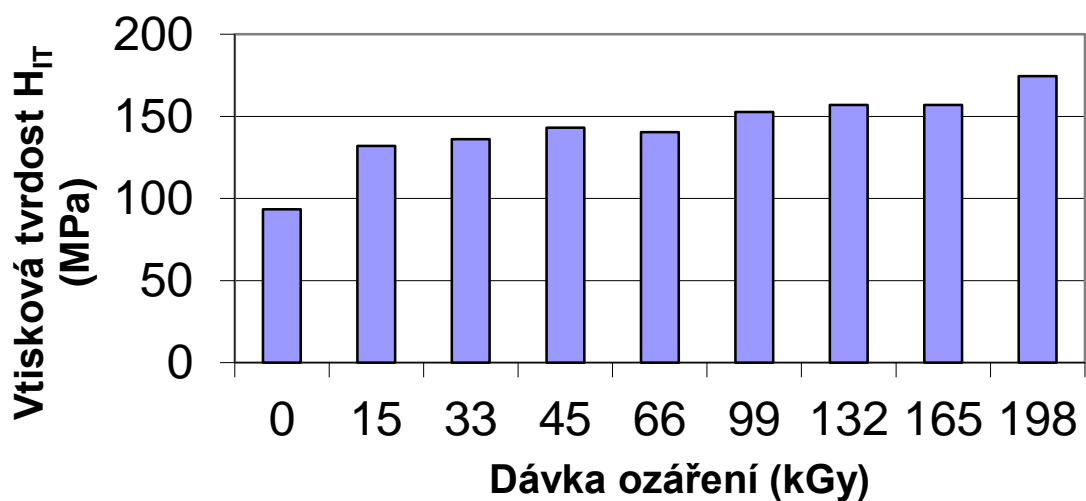
6.6.1 Zkušební zatížení 0,5 N

Tab. 3 Naměřené hodnoty pro zatížení 0,5 N

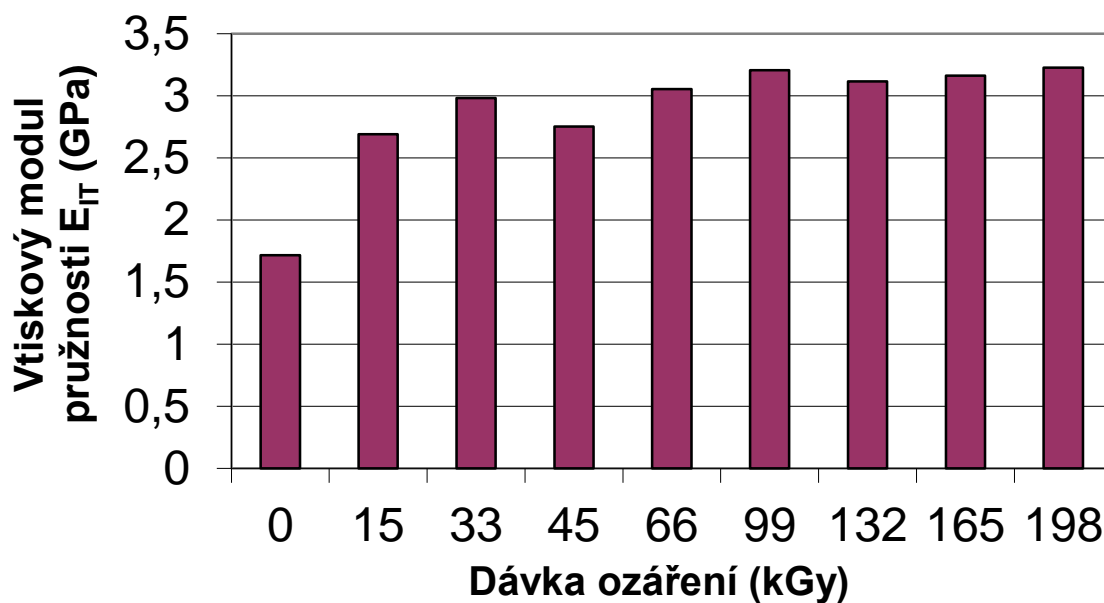
	H _{IT} (MPa)	E _{IT} (GPa)	HV (Vickers)	C _{IT} (%)	W _{elast} (pJ)	W _{plast} (pJ)	W _{total} (μJ)	η _{IT} (%)
0 kGy	93,52	1,66	8,83	10,66	1,29	2,32	3,61	0,36
15 kGy	132,05	2,65	12,46	10,58	0,99	2,06	3,05	0,32
33 kGy	136,06	2,87	12,84	11,05	0,92	2,05	2,97	0,31
45 kGy	143,18	2,79	13,51	12,22	0,95	2,06	3,01	0,32
66 kGy	140,40	2,89	13,25	11,35	0,93	2,00	2,91	0,32
99 kGy	152,59	3,23	14,40	10,38	0,85	1,92	2,77	0,31
132 kGy	157,03	3,32	14,82	10,72	0,85	1,97	2,82	0,30
165 kGy	157,03	3,32	14,82	10,72	0,85	1,97	2,82	0,30
198 kGy	174,50	3,45	16,47	10,68	0,85	1,79	2,64	0,32

Tab. 4 Směrodatná odchylka pro zatížení 0,5 N

ozáření	0 kGy	15 kGy	30 kGy	45 kGy	66 kGy	99 kGy	132 kGy	165 kGy	198 kGy
HIT (Mpa)	11,16	21,3	6,51	4,93	11,68	14	13,88	8,42	41,82
EIT (Gpa)	0,12	0,31	0,08	0,08	0,25	0,25	0,3	0,19	0,43
Er (Gpa)	0,14	0,34	0,09	0,09	0,27	0,27	0,33	0,21	0,47
E* (Gpa)	0,14	0,34	0,09	0,09	0,28	0,27	0,33	0,21	0,47
HV (Vickers)	1,05	2,01	0,61	0,47	1,1	1,32	1,31	0,79	3,95
CIT (%)	0,64	1,35	1,17	1,91	1,19	0,79	1,08	0,81	0,96
RIT (%)	0,02	0,02	0,08	0,05	0,02	0,05	0,03	0,03	0,04
Welast (nJ)	56,33	84,62	25,87	39,37	58,61	41,04	66,56	38,57	35,01
Wplast (nJ)	242,10	238,44	165,18	104,00	123,74	146,17	175,99	57,09	203,57
Wtotal (nJ)	280,33	309,23	175,98	127,76	181,11	184,10	204,48	89,39	218,34

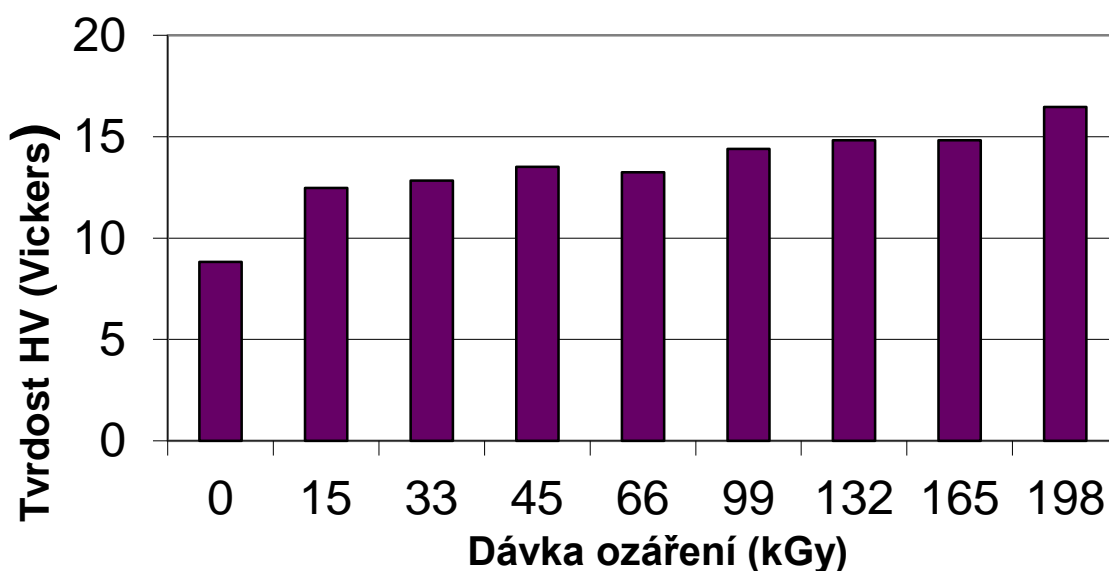
Obr. 21 Vtisková tvrdost H_{IT} při zkušebním zatížení 0,5 N

Z obrázku (Obr. 21) můžeme pozorovat, že neozářený vzorek dosahuje nejnižší hodnoty vtiskové tvrdosti H_{IT} , a to 93,52 MPa. Nejvyšší hodnotu vtiskové tvrdosti H_{IT} jsme naměřili u vzorku s dávkou ozáření 198 kGy, a to 174,5 MPa.



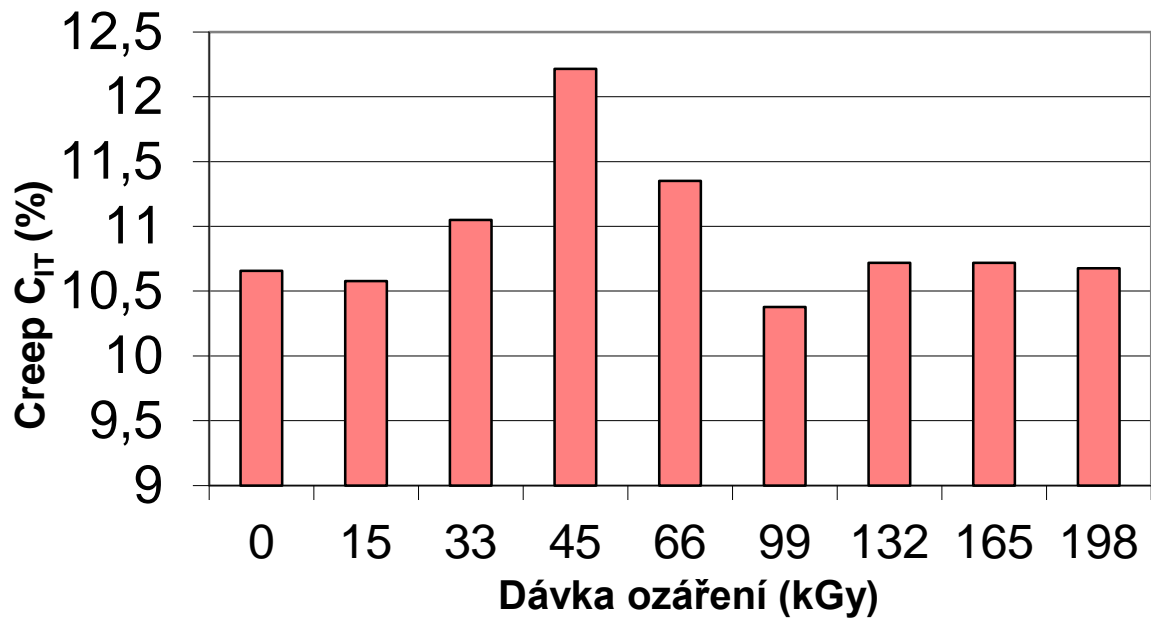
Obr. 22 Vtiskový modul pružnosti E_{IT} při zkušebním zatížení 0,5 N

Nejnižší hodnoty vtiskového modulu pružnosti E_{IT} dosahuje neozářený vzorek. Dosahuje 1,655 GPa. Vzorek ozářený dávkou 198 kGy dosahuje nejvyšší hodnoty vtiskového modulu pružnosti E_{IT} , a to 3,448 GPa.



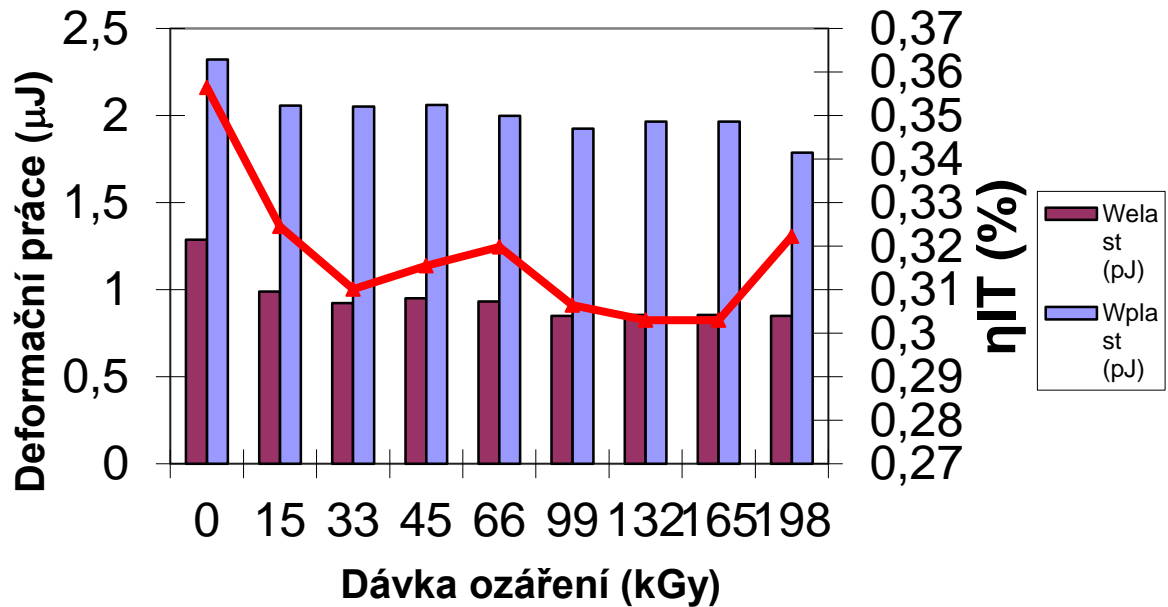
Obr. 23 Tvrdość dle Vickerse HV při zkušebním zatížení 0,5 N

Nejnižší hodnoty tvrdosti dle Vickerse dosahuje neozářený vzorek, a to 8,826 HV. Nejvyšší hodnotu 16,47 HV jsme zjistili u vzorku ozářeném dávkou 198 kGy.



Obr. 24 Creep C_{IT} při zkušebním zatížení 0,5 N

Nejnižší hodnoty v případě creepového chování 10,377 % dosahuje ozářený vzorek dávkou 99 kGy. Nejvyšší hodnoty 12,216 % dosahuje vzorek ozářený dávkou 45 kGy.



Obr. 25 Elastická část práce vtisku W_{elast} , plastická část práce vtisku W_{plast} a koeficient zpětné relaxace η při zkušebním zatížení 0,5 N

Z naměřených hodnot můžeme vyčíst, že nejnižší hodnotu pro elastickou část práce vtisku W_{elast} má ozářený vzorek dávkou 198 kGy, a to 0,85 μJ. Nejvyšší hodnota pro elastickou část práce vtisku W_{elast} je 1,287 μJ u neozařeného vzorku.

Nejnižší hodnota plastické části práce vtisku W_{plast} je 1,788 μJ u ozářeného vzorku dávkou 198 kGy. Nejvyšší hodnota plastické části práce vtisku W_{plast} byla zjištěna u neozařeného vzorku, a to 2,323 μJ.

U koeficientu zpětné relaxace η byla zjištěna nejnižší hodnota 0,303 % u dvou ozářených vzorků dávkou ozáření 132 kGy a 165 kGy. Nejvyšší hodnota koeficientu zpětné relaxace η 0,356 % byla u neozařeného vzorku.

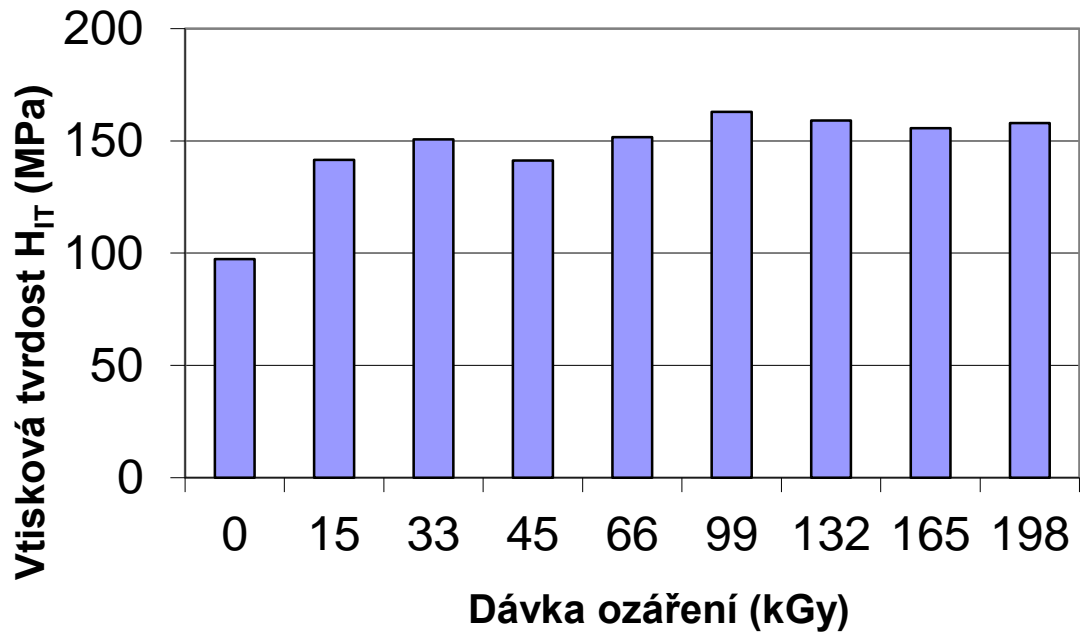
6.5.2 Zkušební zatížení 1 N

Tab. 5 Naměřené hodnoty pro zatížení 1 N

	HIT (MPa)	EIT (GPa)	HV (Vickers)	CIT (%)	Welast (pJ)	Wplast (pJ)	Wtotal (μJ)	ηIT (%)
0 kGy	97,30	1,72	9,18	11,04	3,44	6,43	9,87	0,35
15 kGy	141,56	2,69	13,36	11,25	2,69	5,51	8,20	0,33
33 kGy	150,63	2,98	14,22	10,95	2,51	5,39	7,90	0,32
45 kGy	141,30	2,75	13,34	10,88	2,63	5,52	8,15	0,32
66 kGy	151,75	3,05	14,32	10,93	2,46	5,33	7,79	0,32
99 kGy	162,97	3,21	15,38	10,93	2,39	5,15	7,54	0,32
132 kGy	159,11	3,12	15,02	10,92	2,43	5,25	7,68	0,32
165 kGy	155,70	3,16	14,70	10,38	2,41	5,14	7,54	0,32
198 kGy	158,02	3,23	14,91	10,17	2,37	5,11	7,48	0,32

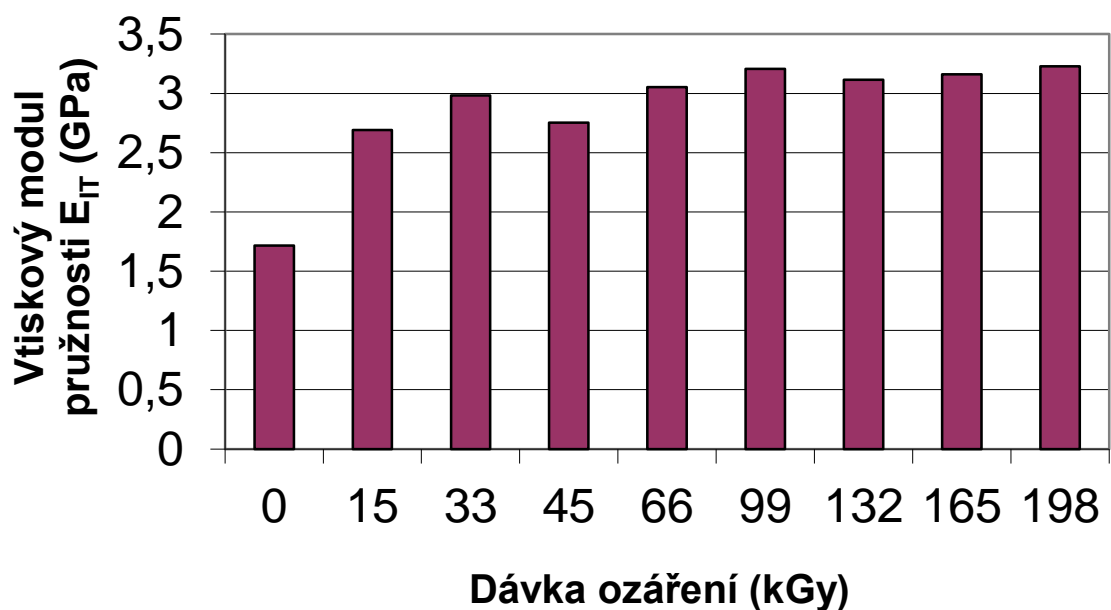
Tab. 6 Směrodatná odchylka pro zatížení 1 N

ozáření	0 kGy	15 kGy	30 kGy	45 kGy	66 kGy	99 kGy	132 kGy	165 kGy	198 kGy
HIT (Mpa)	4,33	31,51	13,32	12,37	11,68	14	13,88	8,42	41,82
EIT (Gpa)	0,07	0,31	0,2	0,18	0,25	0,25	0,3	0,19	0,43
Er (Gpa)	0,07	0,34	0,22	0,19	0,27	0,27	0,33	0,21	0,47
E* (Gpa)	0,07	0,35	0,23	0,19	0,28	0,27	0,33	0,21	0,47
HV (Vickers)	0,41	2,97	1,26	1,17	1,1	1,32	1,31	0,79	3,95
CIT (%)	0,51	1,83	0,46	1,32	1,19	0,79	1,08	0,81	0,96
RIT (%)	0,02	0,01	0,05	0,01	0,02	0,05	0,03	0,03	0,04
Welast (nJ)	118,02	102,91	95,62	104,31	58,61	41,04	66,56	38,57	35,01
Wplast (nJ)	319,66	210,00	256,92	301,98	123,74	146,17	175,99	57,09	203,57
Wtotal (nJ)	418,67	284,57	316,82	367,64	181,11	184,10	204,48	89,39	218,34



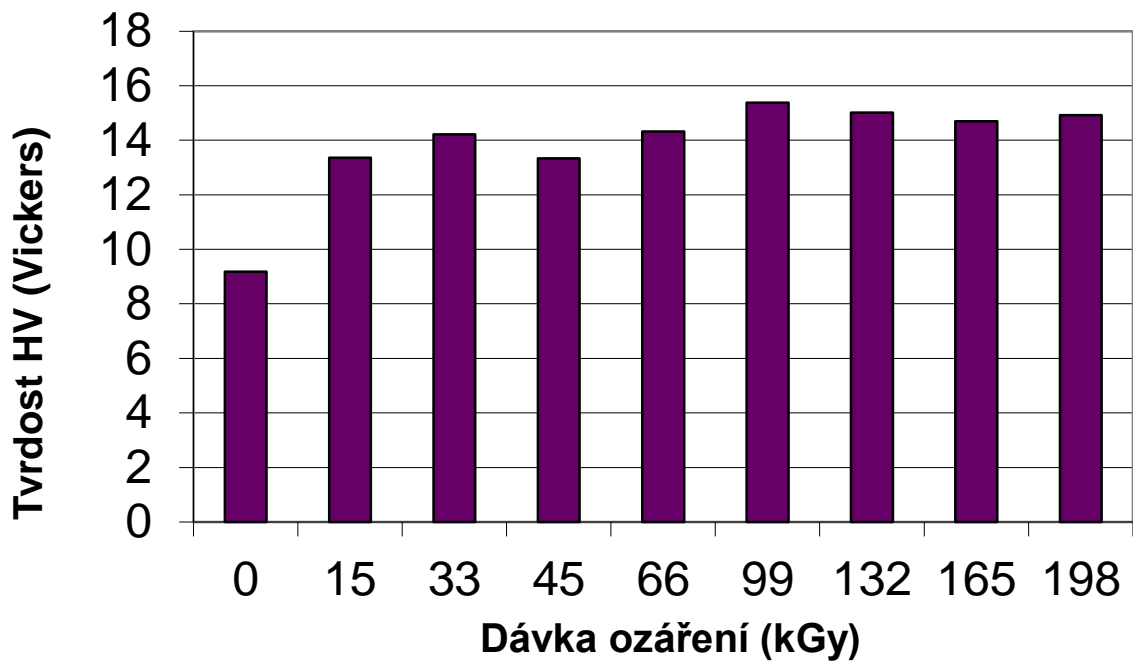
Obr. 26 Vtisková tvrdost H_{IT} při zkušebním zatížení 1 N

Nejnižší hodnotu vtiskové tvrdosti H_{IT} 97,304 MPa pozorujeme u neozařeného vzorku. Nejvyšší hodnotu vtiskové tvrdosti H_{IT} 162,971 MPa jsme zjistili u ozařeného vzorku dávkou 99 kGy.



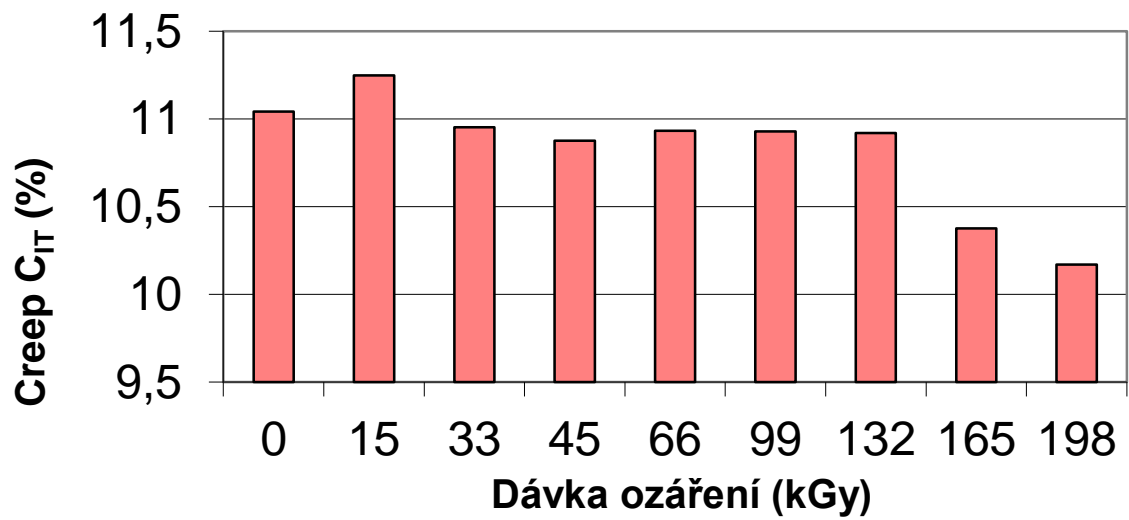
Obr. 27 Vtiskový modul pružnosti E_{IT} při zkušebním zatížení 1 N

Nejnižší hodnotu vtiskového modulu pružnosti E_{IT} 1,717 GPa jsme zjistili u neozářeného vzorku. Nejvyšší hodnotu vtiskového modulu pružnosti E_{IT} 3,227 GPa u ozářeného vzorku dávkou 198 kGy.



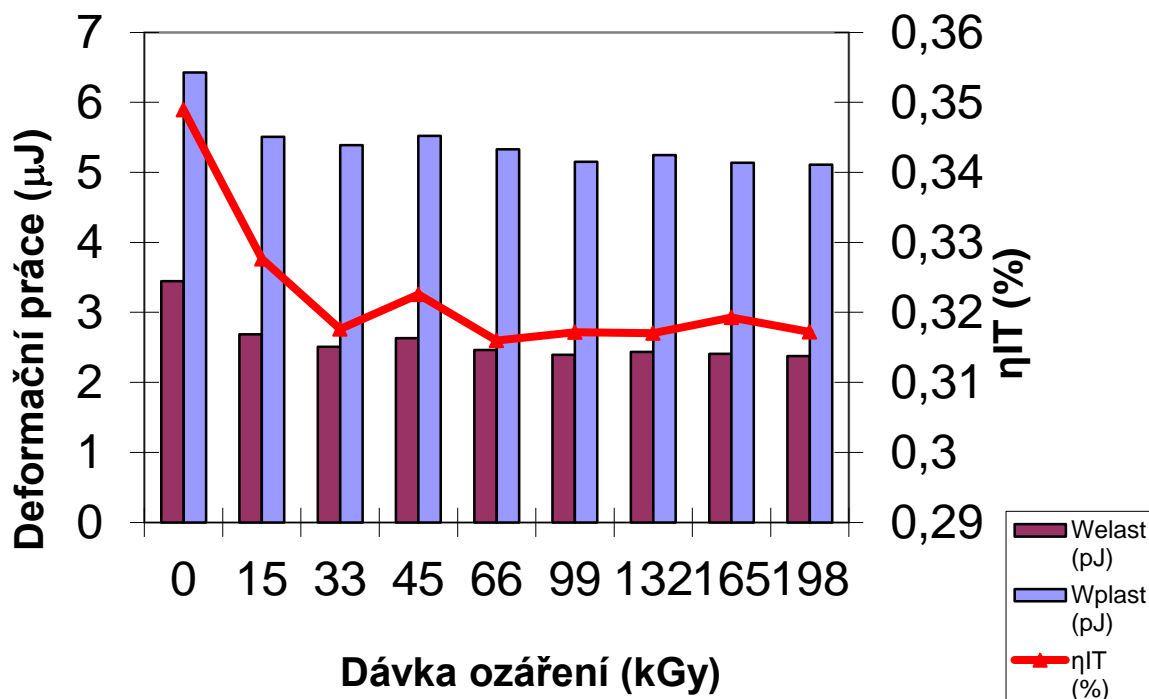
Obr. 28 Tvrdość dle Vickerse HV při zkušebním zatížení 1 N

Nejnižší hodnoty tvrdosti dle Vickerse dosahuje neozářený vzorek, a to 9,184 HV. Nejvyšší hodnotu tvrdosti dle Vickerse jsme zjistili u vzorku ozářeném dávkou 99 kGy, a to 15,382 HV.



Obr. 29 Creep C_{II} při zkušebním zatížení 1 N

V případě creepového chování jsme zjistili nejnižší hodnot 10,171 % u ozářeného vzorku dávkou ozáření 198 kGy. Nejvyšší hodnotu u creepového chování 11,249 % dosahuje vzorek ozářený dávkou 15 kGy.



Obr. 30 Elastická část práce vtisku W_{elast} , plastická část práce vtisku W_{plast} a koeficient zpětné relaxace η při zkušebním zatížení 1 N

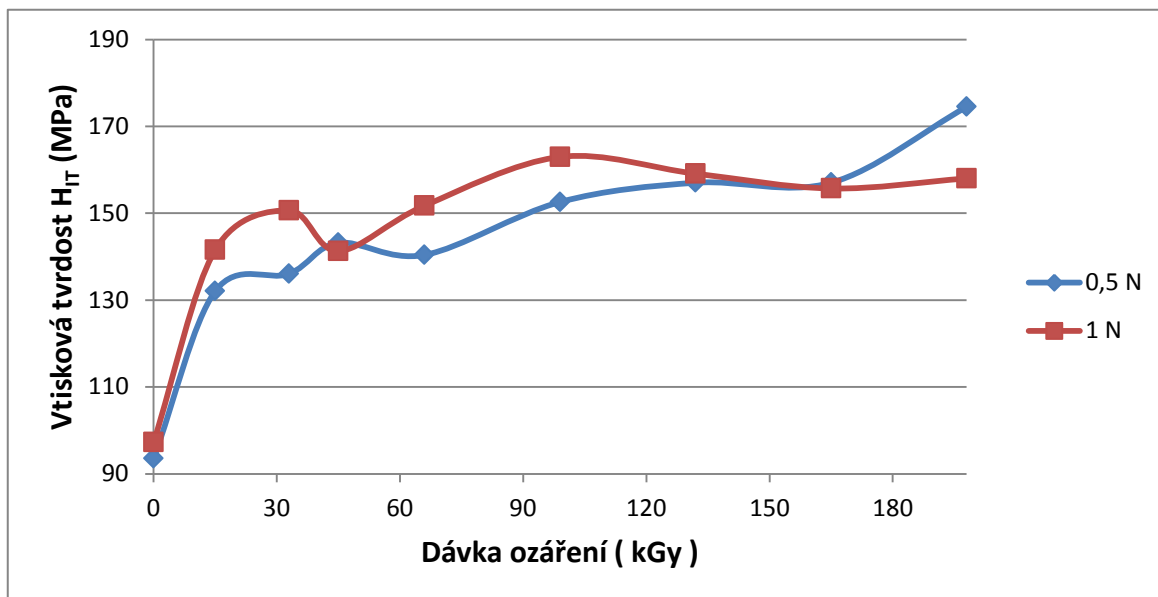
Nejnižší hodnotu pro elastickou část práce vtisku W_{elast} 2,373 μJ má vzorek ozářený dávkou 198 kGy. Nejvyšší hodnotu pro elastickou část práce vtisku W_{elast} jsme zjistili u neozářeného vzorku, a to 3,444 μJ .

Jako nejnižší hodnotu plastické části práce vtisku W_{plast} jsme určili 5,11 μJ u vzorku ozářeného dávkou 198 kGy. Nejvyšší hodnota plastické části práce vtisku W_{plast} byla zjištěna u neozářeného vzorku, a to 6,426 μJ .

Nejnižší hodnota u koeficientu relaxace byla zjištěna 0,316 % u vzorku ozářeného dávkou 66 kGy. Nejvyšší hodnota byla zjištěna 0,349 % u neozářeného vzorku.

7. DISKUZE VÝSLEDKŮ

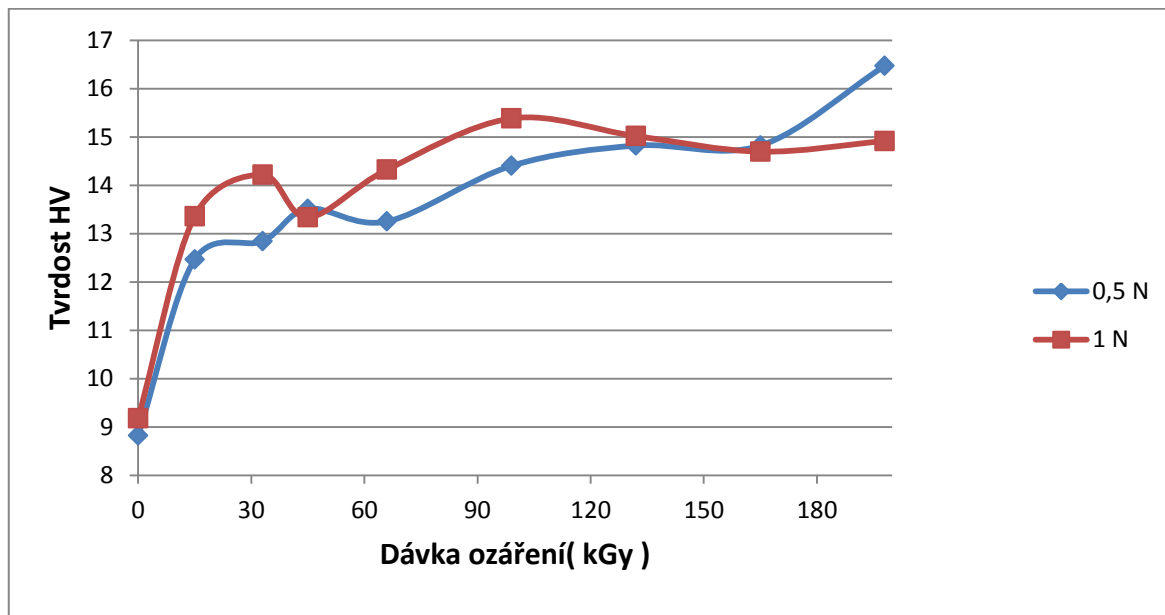
Cílem bakalářské práce bylo měření mikrotvrlosti polyamidu 6 plněného 30% GF. Měření probíhalo při zatížení 0,5 N a 1 N. Zkušební tělesa byla před měřením ozářena dávkami záření 15 kGy, 33 kGy, 45 kGy, 66 kGy, 99 kGy, 132 kGy, 165 kGy a 198 kGy. Soubory naměřených hodnot byly zpracované a výsledky graficky znázorněné.



Obr. 31 Shrnutí výsledků vtiskové tvrdosti H_{IT}

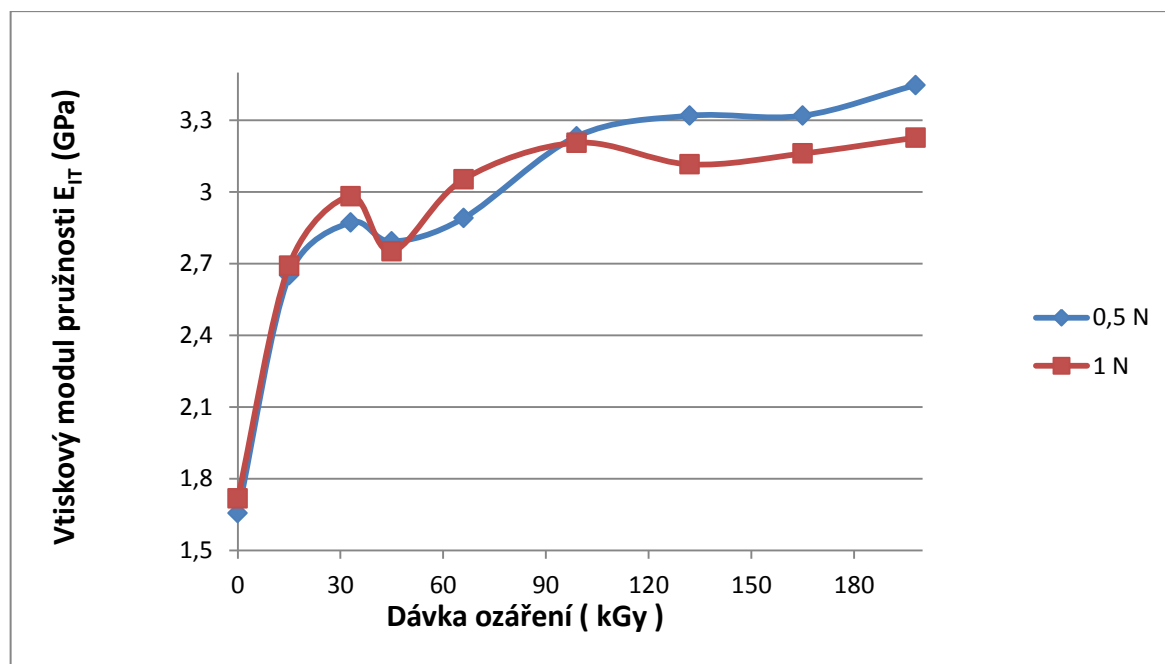
Z naměřených výsledků vyplynulo, že nejvyšší hodnota vtiskové tvrdosti byla zjištěna u zatížení 0,5 N u dávky ozáření 198 kGy. Pro zatížení 1 N byla zjištěna nejvyšší hodnota vtiskové tvrdosti u dávky vtiskové tvrdosti 99 kGy.

Nejmenších hodnot bylo u vtiskové tvrdosti dosaženo u neozářeného polyamidu. Nárůst vtiskové tvrdosti pro zatížení 0,5 N bylo zřejmě způsobeno zesítním amorfni části povrchové vrstvy a tím došlo k zvýšení tvrdosti v této oblasti. U zatížení 1 N byl nárůst pravděpodobně způsoben dodatečnou krystalizací povrchové vrstvy.



Obr. 32 Shrnutí výsledků tvrdosti dle Vickerse HV

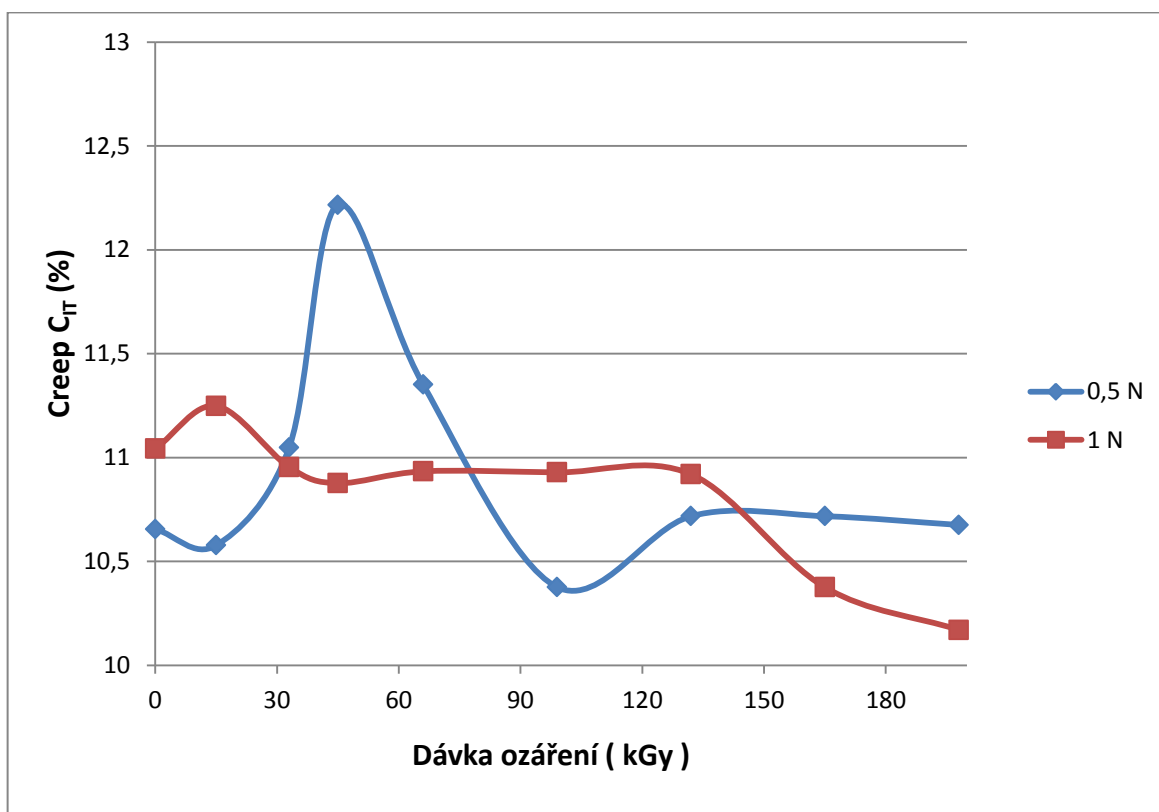
Z naměřených výsledků jsme zjistili, že nejvyšší hodnota tvrdosti dle Vickerse byla u dávky ozáření 198 kGy, pro zatížení 0,5 N. Na rozdíl u zatížení 1 N byla nejvyšší hodnota při ozáření dávkou 99 kGy.



Obr. 33 Shrnutí výsledků vtiskového modulu pružnosti E_{TT}

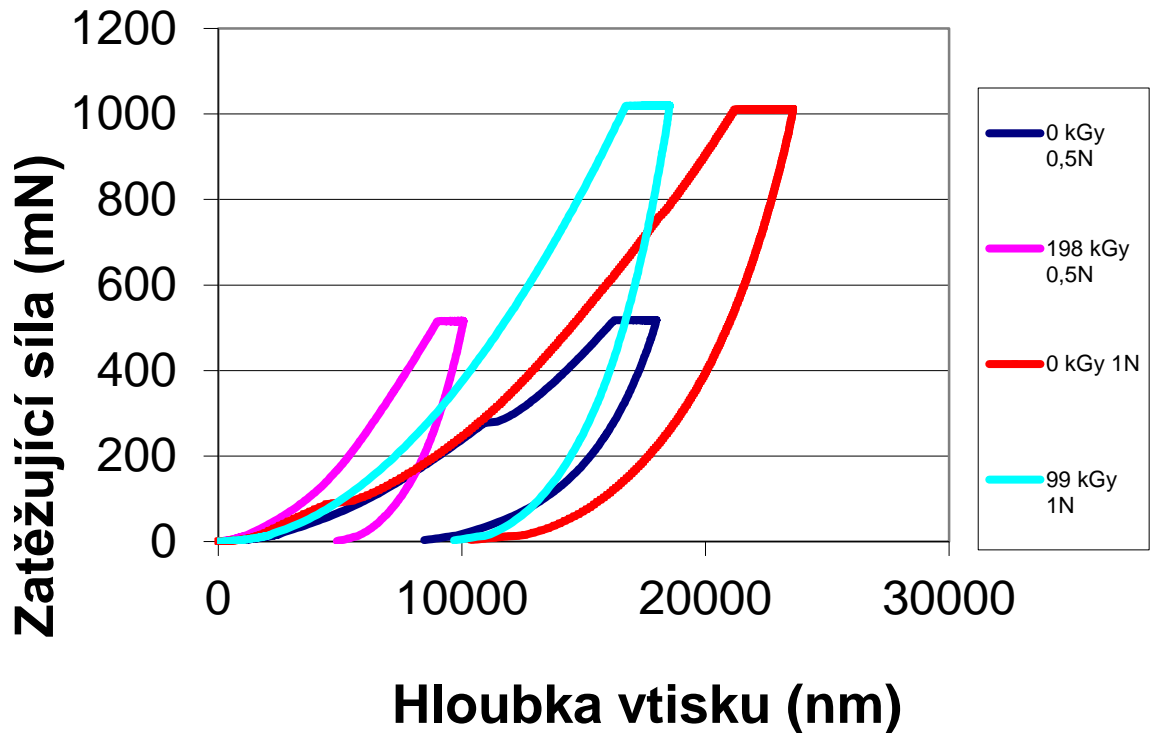
Z naměřených výsledků vyplývá, že nejvyšších hodnot vtiskového modulu pružnosti který reprezentuje mikrotuhost povrchové vrstvy bylo dosaženo u polyamidu ozářeného dávkou ozáření 198 kGy pro obě aplikované zátěže.

Nejmenších hodnot mikrotuhosti povrchové vrstvy bylo dosaženo u neozářeného polyamidu. Lze předpokládat, že dodatečným síťováním amorfnní povrchové vrstvy pro dávkou ozáření 198 kGy dochází k výraznému zvýšení tuhosti, jak tomu odpovídají naměřené výsledky.



Obr. 34 Shrnutí výsledků creepu C_{II}

Nejvyšší odolnost proti konstantnímu zatížení v průběhu času (creepu) bylo dosaženo pro zatížení 0,5 N u dávky ozáření 99 kGy, což koresponduje s nejvyšší hodnotou vtiskové tvrdosti. Pro zatížení 1 N pak bylo dosaženo nejmenších hodnot creepu u dávky ozáření 198 kGy. Stejně jako v předchozím případě koresponduje nejnižší hodnota creepu s velikostí hodnot vtiskové tvrdosti.



Obr. 35 Srovnání závislosti zatěžující síly na hloubce vtisku

Jako velmi zajímavé se jeví srovnání závislosti zatěžující síly na hloubce vtisku. Jak je patrné z Obr. 35, pro různé zatížení dosahujeme různého průniku do povrchové vrstvy. Zároveň je z grafu patrné, že je možné ze zatěžující křivky poznat oblasti, které mají jinou strukturu, či obsahují nějaký vměstek (nehomogenitu). Odtěžující křivka nám posléze udává velikost vtiskového modulu pružnosti. Z takto vzniklých křivek je možné odečíst velikost elastické a plastické deformační práce.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo provést měření mikrotvrdomosti u polyamidu 6, plněného 30% skelných vláken. Polyamid byl modifikován beta zářením o velikosti 15 kGy, 33 kGy, 45 kGy, 66 kGy, 99 kGy, 132 kGy, 165 kGy a 198 kGy. Mimo hodnot mikrotvrdomosti jsme sledovali vtiskový modul pružnosti E_{IT} , creep C_{IT} , elastická část práce vtisku W_{elast} , plastická část práce vtisku W_{plast} , celková mechanická práce vtisku W a koeficient zpětné relaxace η .

Měření mikrotvrdomosti bylo realizováno na mikro combi testeru od firmy CSM při zatížení 0,5 N a 1 N. Po vyhodnocení výsledku byly porovnány naměřené hodnoty ozářeného a neozářeného polyamidu.

Z naměřených hodnot vyplynulo, že nejvyšších hodnot vtiskové tvrdosti bylo dosaženo u polyamidu ozářeného dávkou záření 198 kGy, při zatížení 0,5 N. Nejnižší hodnotu vtiskové tvrdosti jsme zjistili u neozářeného vzorku (0 kGy), při zatížení 0,5 N. Nárůst vtiskové tvrdosti zde je 86,6 %.

U vtiskového modulu pružnosti, která nám reprezentuje mikrotuhost povrchové vrstvy byla naměřena nejvyšší hodnota při ozáření dávkou ozáření 198 kGy, pro zatížení 0,5 N. Nejnižší hodnota byla zjištěna u neozářeného vzorku (0 kGy), při zatížení 0,5 N. U vtiskového modulu byl nárůst větší a to 108 % u ozářeného vzorku v porovnání s neozářeným.

Nejvyšší hodnota tvrdosti HV byla u ozářeného vzorku dávkou ozáření 198 kGy, pro zatížení 0,5 N. Nejnižší hodnota byla opět u neozářeného vzorku (0 kGy), při zatížení 0,5 N. U tvrdosti jsme vypočítali nárůst hodnot tvrdosti HV o 86,6 % u ozářeného vzorku v porovnání s neozářeným.

Nejvyšší hodnotu creepu jsme zjistili u ozářeného vzorku dávkou záření 45 kGy, pro zatížení 0,5 N. Zde jsme mohli pozorovat nejnižší nárůst 14,64 %. Při sledování této hodnoty jsme mohli zpozorovat i pokles a to u zkušebního vzorku ozářeného dávkou záření 198 kGy, při zatížení 1 N. Pokles byl 4,55 %.

Tyhle výrobky pak mají využití v oblasti, kde se předpokládá s velkým třením např. ozubená kola, různé součásti kde je kladen důraz na opotřebení .

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RYBNÍKÁŘ, F. Makromolekulární chemie I, Brno VUT. 1987
- [2] Technologie II., [online], Technická univerzita Liberec, [cit.2012-12-15],
WWW:http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [3] VESELÝ, K: Plasty a kaučuk, Praha : STNL, 1981
- [3] NEZBEDOVÁ, E, - KUČERA, J.: Plasty a kaučuk,Praha: STNL. 1998
- [4] SOVA, M. – KREBS, J. a kolektiv: Termoplasty v praxi: aktuální stav červenec
2003, Verlag Dashöfer, 2003
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ: Základy fyziky polymerů,Praha: Macro, 1998
- [6] IVANOV, S.V.: Radiation chemistry of polymers, Tokyo, VSP, 1992
- [7] SCHATZ, M.; VONDRÁČEK, P. Zkoušení polymerů. VŠCHT Praha 1988
- [8] LUTONSKÝ, Z. Vliv teploty na mechanické chování polymerů a kompozitů.
Zlín: UTB Zlín, 2007. 118 p
- [9] *Remex, PA6, PA 66 A PA 66/6* [cit. 2013-03-10] www:
<http://www.resinex.cz/produkty/technyl.html>
- [10] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Záření gama. *Encyklopedie fyziky* [online]. © 2006 - 2013 [cit. 2013-03-10]. Dostupné z:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/805-zareni-gama>
- [11] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Záření beta. *Encyklopedie fyziky* [online]. © 2006 - 2013 [cit. 2013-03-10]. Dostupné z:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/804-zareni-beta>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

C_{IT}	Vtiskový creep.
E_{IT}	Vtiskový modul pružnosti.
H_{IT}	Hodnota vtiskové tvrdosti.
HV	Hodnota tvrdosti dle Vickerse.
ISO	Mezinárodní norma.
W	Celková mechanická práce.
W_{elast}	Elastická část práce.
W_{plast}	Plastická část práce.
α	Vrcholový úhel 172,5°.
β	Vrcholový úhel 130°.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Stavební jednotka	12
<i>Obr. 2</i> Základní rozdělení polymerů	12
<i>Obr. 3</i> Tvar makromolekulárních řetězců: a) lineární polymer, b) rozvětvený polymer, c) zesíťovaný polymer, d) prostorově zesíťovaný polymer	15
<i>Obr. 4</i> Rozdělení polymerů dle jejich aplikace a nemolekulární struktury	17
<i>Obr. 5</i> Klasifikace polymerů podle jejich reakce na ionizující záření [2]	23
<i>Obr. 6</i> Zkouška tvrdosti dle Brinella	27
<i>Obr. 7</i> Zkouška dle Vickerse	27
<i>Obr. 8</i> Zkouška podle Knoopa	28
<i>Obr. 9</i> Zkouška tvrdosti podle Rockwella (HRB, HRC)	29
<i>Obr. 10</i> Zkušební hroty tvrdoměru typu Shore A a Shore D.....	30
<i>Obr. 11</i> Schéma síťování PE elektronovým zářením	31
<i>Obr. 12</i> Radiační zesíťování [9].....	32
<i>Obr. 13</i> Schopnost pronikání elektronového- β a gama- γ záření	32
<i>Obr. 14</i> Průnik beta záření [9].....	33
<i>Obr. 15</i> Průnik gama záření [8].....	34
<i>Obr. 16</i> Charakteristika vlastností termoplastů v závislosti na dávce ozáření	35
<i>Obr. 17</i> Zkušební vzorky	39
<i>Obr. 18</i> Přístroj CSM.....	40
<i>Obr. 19</i> Popis přístroje CSM 1	41
<i>Obr. 20</i> Popis přístroje CSM 2	41
<i>Obr. 21</i> Vtisková tvrdost H_{IT} při zkušebním zatížení 0,5 N.....	44
<i>Obr. 22</i> Vtiskový modul pružnosti E_{IT} při zkušebním zatížení 0,5 N.....	45
<i>Obr. 23</i> Tvrdost dle Vickerse HV při zkušebním zatížení 0,5 N.....	45
<i>Obr. 24</i> Creep C_{IT} při zkušebním zatížení 0,5 N.....	46
<i>Obr. 25</i> Elastická část práce vtisku W_{elast} , plastická část práce vtisku W_{plast} a koeficient zpětné relaxace η při zkušebním zatížení 0,5 N	47
<i>Obr. 26</i> Vtisková tvrdost H_{IT} při zkušebním zatížení 1 N.....	49
<i>Obr. 27</i> Vtiskový modul pružnosti E_{IT} při zkušebním zatížení 1 N.....	49
<i>Obr. 28</i> Tvrdost dle Vickerse HV při zkušebním zatížení 1 N.....	50
<i>Obr. 29</i> Creep C_{IT} při zkušebním zatížení 1 N	51

<i>Obr. 30</i> Elastická část práce vtisku W_{elast} , plastická část práce vtisku W_{plast} a koeficient zpětné relaxace η při zkušebním zatížení 1 N	52
<i>Obr. 31</i> Shrnutí výsledků vtiskové tvrdosti H_{IT}	53
<i>Obr. 32</i> Shrnutí výsledků tvrdosti dle Vickerse HV	54
<i>Obr. 33</i> Shrnutí výsledků vtiskového modulu pružnosti E_{IT}	54
<i>Obr. 34</i> Shrnutí výsledků creepu C_{IT}	55
<i>Obr. 35</i> Srovnání závislosti zatěžující síly na hloubce vtisku	56

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Příklad vybraných aplikací v průmyslu a vlastností získaných po ozáření</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 2 Rozdíly PA 6 a PA 66 [9]</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 3 Naměřené hodnoty pro zatížení 0,5 N</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 4 Směrodatná odchylka pro zatížení 0,5 N</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 5 Naměřené hodnoty pro zatížení 1 N</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 6 Směrodatná odchylka pro zatížení 1 N</i>	<i>48</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD-ROM obsahující plný text práce